

TRÁNSITO DEL PENSAMIENTO LINEAL AL PENSAMIENTO COMPLEJO MEDIANTE
EL ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS COMO EL DE CAVITACIÓN Y EL TRÁFICO
VEHICULAR

DANIEL CAMILO SEGURA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTÁ D.C.

2025

TRÁNSITO DEL PENSAMIENTO LINEAL AL PENSAMIENTO COMPLEJO MEDIANTE
EL ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS COMO EL DE CAVITACIÓN Y EL TRÁFICO
VEHICULAR

DANIEL CAMILO SEGURA GUTIÉRREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

EDUARDO GARZÓN LOMBANA

Asesor de trabajo de grado

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C.

2025

Contenido	
Resumen.....	6
Introducción	7
Problemática.....	8
Justificación.....	10
Objetivos	12
Objetivo General.....	12
Objetivo Específicos	12
1.1 Marco disciplinar	13
1.1.1 Determinismo Desde el Paradigma Newtoniano	13
1.1.2 Aditividad	15
1.1.3 Replicación.....	16
1.1.4 Relaciones claras entre causa y efecto - Proporcionalidad.....	16
1.1.5 Indeterminismo en la ciencia y sistemas complejos	17
1.1.6 Definición y características de los sistemas complejos	19
1.1.7 Adaptabilidad.....	21
1.1.8 Emergencia	21
1.1.9 Causalidad no lineal.....	22
1.2 Marco pedagógico	23
1.2.1 Educación tradicional	23
1.2.2 Complejidad del pensamiento y educación	25
1.2.3 Metodologías activas.....	27
1.2.4 Estrategia Aprendizaje.....	28
2.2.5 Estrategia Enseñanza	29
2. Metodología	31
2.1 Tipo de Investigación	31
2.2 Ruta metodológica.	32
2.3 Revisión documental	33
2.4. ¿Por qué los fenómenos de Tráfico vehicular y Cavitación?	33
2.5 Recursos didácticos	35
2.6 Experimento discrepante.....	37
2.7 Planeación	38
2.8 Fenómenos Abordados y Construcción de Material.....	41

2.8.1 Tráfico vehicular	41
2.8.2 Cavitación Hidrodinámica	44
3 Implementación.....	45
4. Resultados y análisis	51
4.1 Rubrica	51
4.2 Resultados implementación estrategia enseñanza-aprendizaje	52
4.3 Análisis.....	54
4.3.1 Análisis Global	54
4.3.2 Sesión inicial.....	54
4.3.3 Sesión 2 y 3	55
4.3.4 Sesión final	56
5. Conclusiones	57
Referencias.....	61
Anexos	67

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Características de los fenómenos de tráfico vehicular y cavitación hidrodinámica, desde la complejidad.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2 Descripción de las actividades primera sesión.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3 Descripción de las actividades sesión dos.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4 Descripción de las actividades sesión tres.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5 Descripción de las actividades sesión cuatro.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6 Rubrica evaluativa de la estrategia de enseñanza-aprendizaje.....</i>	<i>51</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1 Estados inicial y final después de tiempo con V_{max} la estrategia ilustra un vehículo. Tomado de Alexander Farley, P. 9 (2012).</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2 Ilustración del Autómata Celular. Imagen propia</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3 Variación de presión y condiciones de flujo en un dispositivo de cavitación. (venturi). Tomado de Carpenter, J., Badve, M., Rajoriya, S., George, S., Saharan, V. K., & Pandit, A. B. (2017).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4 Botella llena de agua y golpeada con un martillo goma. Tomada de (Jorge Ordóñez - Diagnostico Automotriz, 2023)</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5 imagen del escenario PhET que se utilizó en la cavitación hidrodinámica. Tomado de (https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow&locale=es).....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6 Diagrama de barras criterio descripción de la problemática planteada inicial VS sesión Final.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7 Diagrama de barras criterio análisis del fenómeno, sesión inicial VS sesión Final.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8 Diagrama de barras criterio explicación de la solución, sesión inicial VS sesión Final.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 9 Diagrama de barras general sesión inicial VS sesión Final.</i>	<i>92</i>

Índice de Imagen

<i>Imagen 1 Fotografía tomada de un Voluntario replicando la práctica experimenta “Cavitación Hidrodinámica” en la sesión inicial.....</i>	<i>47</i>
<i>Imagen 2 Captura de pantalla donde el grupo de participantes plasman sus respuestas sobre fenómenos de emergencia en la cotidianidad.</i>	<i>56</i>

Resumen

La investigación aborda el tránsito del pensamiento lineal al pensamiento complejo en estudiantes de Licenciatura en Física de la UPN, a partir del estudio de la cavitación hidrodinámica y el tráfico vehicular. Se busca superar el enfoque determinista y reduccionista en la enseñanza de la física, incorporando nociones de no linealidad, emergencia, adaptabilidad y mirada sistémica. Se diseña e implementa una secuencia de enseñanza–aprendizaje con metodologías activas, uso de TIC, un modelo de autómeta celular para el tráfico y una práctica experimental de cavitación. Bajo un enfoque cualitativo, se analizan registros de clase, producciones estudiantiles y una rúbrica que permite ubicar las respuestas entre estructuras de pensamiento lineal y complejo. Los resultados muestran avances en la identificación de múltiples variables, en el reconocimiento de relaciones no lineales y en la formulación de explicaciones más integrales. Se concluye que la estrategia es pertinente para introducir el pensamiento complejo en el aula de física y puede adaptarse a otros contextos formativos. Se concluye que la estrategia es pertinente para introducir el pensamiento complejo en el aula de física y puede adaptarse a otros contextos formativos.

Introducción

El presente trabajo titulado “Transición del Pensamiento Lineal al Pensamiento Complejo Mediante el Análisis de Fenómenos como el de Cavitación y el Tráfico Vehicular” Se ha desarrollado a partir de la relación entre la física y los fenómenos complejos que se pueden abordar en el día a día. De esta manera, se pretende aportar en la forma en que los estudiantes analizan diferentes fenómenos, desde una óptica interdisciplinaria.

Con el propósito alcanzar el objetivo general, que consiste en diseñar una estrategia de enseñanza aprendizaje que permita a los estudiantes de la Licenciatura en Física la transición del pensamiento dicotómico al pensamiento complejo, mediante el estudio de fenómenos tales como la cavitación y el tráfico vehicular, se han integrado el uso de las TIC, un modelo autómatas celular (AC) y la práctica experimental.

La estructura del trabajo se dispone de la siguiente manera: El primer capítulo aborda, inicialmente, el marco teórico disciplinar, en donde a través de una revisión histórica se presenta los aspectos característicos del pensamiento lineal (desde la perspectiva Newtoniana) y del pensamiento complejo. Posteriormente, se precisa la postura pedagógica que se adopta.

El capítulo dos, detalla la ruta metodológica implementada en la estrategia de enseñanza-aprendizaje con el grupo de voluntarios, describiendo cada etapa del proceso.

En el tercer capítulo presenta la implementación de la estrategia de enseñanza-aprendizaje con la población siguiendo las actividades establecidas desde la planeación.

El cuarto capítulo expone el análisis de los resultados obtenidos y sus implicaciones, con el fin de evidenciar el proceso de los estudiantes al abordar diferentes fenómenos, en referencia a las estructuras lineales o complejas.

Finalmente, el quinto capítulo recoge las conclusiones, en las que se reflexiona sobre logros y limitaciones de la investigación, ofreciendo un cierre fundamentado que responde a los objetivos planteados y sugiere posibles líneas de exploración.

Problemática

La modernidad ha traído con sus pasos tecnologías innovadoras que han aumentado la calidad de vida humana (Popescu, 2020), así mismo se han presentado situaciones problemáticas, como la crisis ambiental, la búsqueda de acuerdos para mitigar el cambio climático y problemas energéticos, a las que se refiere (Estenssoro, 2010), en las cuales se han tenido que brindar soluciones mediante el uso de métodos diferentes a los tradicionales, fortaleciendo otras ramas del conocimiento con énfasis holístico (sistémico). Se convierte en una oportunidad para que los estudiantes del programa de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) puedan tener conocimiento de perspectivas alternativas para el abordaje de problemas que se puedan presentar en su vida profesional.

La investigación realizada por Campelo (2003) señala que la enseñanza tradicional en la que se prioriza la dicotomía entre la parte teórica y la experimental, no favorece el desarrollo del pensamiento deductivo y con ello la capacidad de generalización de los conocimientos adquiridos.

Yanes (2016) menciona que la importancia de promover el pensamiento complejo abstracto en las aulas de clase radica en la necesidad de profundizar en la comprensión de los fenómenos naturales. A pesar de vivir en una sociedad caracterizada por su alta complejidad, la ciencia ha demostrado tendencias de abordar fenómenos naturales con enfoque simplista y lineal, para su comprensión, no obstante, este enfoque es limitado debido a que la mayoría de estos responden a dinámicas de sistemas complejos y no lineales.

El abordaje de fenómenos físicos se transforma en la oportunidad perfecta para considerar explicaciones a través del pensamiento complejo, como son los fenómenos de cavitación y el tráfico vehicular. El análisis de este tipo de fenómenos implica una transición desde el pensamiento determinista a uno holístico (sistemático), de un análisis de sistemas ideales con variables controlables a sistemas complejos que interaccionan de manera colectiva, adaptativa y propiedades emergentes, correlacionados con las condiciones instantáneas del entorno y la transdisciplinariedad.

Se plantea la necesidad de un enfoque transdisciplinario que favorezca una reflexión profunda y permita superar el reduccionismo señalado por Escobar y Escobar (2016) . La noción del pensamiento complejo resalta la característica principal de "complexus". Según (Morin, 2004) se define como el tejido en conjunto de las diversas áreas disciplinarias con el propósito de vincular el conocimiento con la realidad en la que opera. Esto permite que cada persona adquiera un conocimiento específico de un fragmento de la realidad.

Cabe hacer la aclaración que este trabajo no se centra en la enseñanza de un concepto o tema disciplinar, sino en el cambio de pensamiento debido, a que dependiendo del enfoque de cada investigador se puede considerar el pensamiento complejo una competencia, habilidad o una función cognitiva de orden superior (Soler, 2023).

Mediante el planteamiento anterior surge la pregunta investigativa.

¿Cómo favorecer la transición del pensamiento lineal al pensamiento complejo en los estudiantes de la Licenciatura en Física, de la Universidad Pedagógica Nacional, a través del análisis de los fenómenos de cavitación y tráfico vehicular?

Justificación

Un aspecto que menciona el astrofísico Hawking (2004) está relacionado con la concepción del determinismo en la física clásica. En esta teoría, se sostenía que era posible evaluar y medir la realidad mediante un conjunto específico de condiciones iniciales y causas bien definidas, lo que proporcionaba una casi absoluta certeza sobre el comportamiento de los eventos. Esta idea de una relación causa-efecto lineal forma la base de lo que se enseña en el aula de física.

Al brindar cursos relacionados con la física, desde los grados de educación primaria hasta algunos espacios académicos en programas de pregrado, el objetivo es enseñar esta ciencia superando la limitación del paradigma dicotómico, que tiende a categorizar las cosas en términos de blanco o negro, útil o inútil, especialmente cuando se trata de comprender fenómenos idealizados o bajo condiciones especiales. Aunque estos conceptos son fundamentales para la comprensión, al realizar experimentos prácticos, se evidencia que eliminar completamente las influencias externas es más complicado de lo que parece como lo resalta (Chaparro & Ávila, 2005).

En el ámbito de los fenómenos físicos, a veces resulta complicado identificar situaciones específicas donde se puedan ver condiciones ideales, como un plano inclinado sin fricción o un gas ideal, por mencionar algunos ejemplos notables. En la caída libre, por ejemplo, al soltar objetos con diferentes masas, se observa que llegan al suelo en momentos distintos. Esto se debe a que factores como la cantidad de masa y la resistencia inherente a la forma del cuerpo afectan la velocidad final con la que alcanzan el suelo. Esto contrasta con la idealización teórica que sugiere que todos los objetos deberían caer al mismo tiempo.

Aunque se intenta recrear estas condiciones ideales en el aula, como dejando caer una hoja de papel y una manzana desde la misma altura en el salón, se observa que la manzana llega al suelo primero. Esto demuestra que los estudiantes no pueden apreciar fácilmente la relación causa-efecto lineal de este fenómeno.

(Najmanovich, 2019) resalta el uso de herramientas que brindan una reflexión sobre el mundo en algunas áreas, principalmente las metáforas representacionalista, supone que el conocimiento es un reflejo del mundo chocando con los límites, esté golpe brinda la opción en la cual se puede

ampliar las dimensiones del pensamiento dando preámbulo a la necesidad de que la reflexión sea abordada desde una mirada diferente a la dicotómica, otorgando bases estables para el conocimiento no-lineal, no es solo de sumar, sino también de cambiarlo.

De acuerdo con la investigación de Tobón (2008) a pesar de los esfuerzos destinados a la planificación, implementación y reflexión desde el enfoque de competencias con una perspectiva compleja, en varios países de Latinoamérica, no se ha logrado un progreso significativo. Por esta razón, este trabajo busca contribuir a la investigación en la enseñanza de la física, centrándose especialmente en el análisis complejo, a través del estudio de los fenómenos de cavitación y el de tráfico. Se destaca la importancia de la práctica experimental para comprender estos conceptos, siguiendo la idea de Zamora (2009) de involucrar a la población objetivo como sujetos activos a través de experiencias directas.

La comprensión y aplicación del pensamiento complejo pueden desempeñar un papel fundamental para los futuros profesionales que se enfrentarán a los desafíos emergentes en el campo de la ciencia como son el cambio climático, epidemiología, mercado financieros entre otros, como lo argumentan Foliaco & Foliaco (2018). Además, este trabajo busca generar nuevas perspectivas sobre los fenómenos educativos que vayan más allá de las concepciones disciplinarias, como plantea De Jesús et al. (2007).

La comprensión y aplicación del pensamiento complejo va más allá de la resolución de problemas simples o rutinarios, ya que se enfoca en abordar desafíos que requieren un enfoque más sofisticado y creativo. La resolución de problemas complejos es una habilidad valiosa en una amplia gama de contextos, incluyendo entornos profesionales, académicos y personales, donde se enfrentan problemas desafiantes y se busca encontrar soluciones innovadoras y efectivas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una estrategia de enseñanza-aprendizaje que permita generar un tránsito del pensamiento lineal al pensamiento complejo, en los estudiantes Licenciatura en Física, a través del estudio de los fenómenos de cavitación y tráfico vehicular.

Objetivo Específicos

- Identificar los elementos que caracterizan tanto la estructura de pensamiento lineal como la estructura del pensamiento complejo, a través de una revisión documental, de manera que permita ubicar el análisis realizado por los estudiantes en alguna de estas estructuras.
- Implementar la estrategia de enseñanza-aprendizaje con los estudiantes de la Licenciatura en Física, de manera que se aporte al análisis de fenómenos desde una perspectiva del pensamiento complejo.
- Analizar el proceso seguido por los estudiantes al pasar de una estructura lineal a una estructura basada en el pensamiento complejo, mediante la estrategia de enseñanza - aprendizaje.

1. Marco teórico

En el presente capítulo se abordan los fundamentos disciplinares y pedagógicos que sustentan esta investigación. Desde el ámbito disciplinar, se realiza un recorrido conceptual que parte del mecanicismo newtoniano y termina en los principios que rigen los sistemas complejos, En el ámbito pedagógico, se analizan los fundamentos de la educación tradicional, la educación basada en el pensamiento complejo, junto con las metodologías activas, definiendo qué es una estrategia de enseñanza y una estrategia de aprendizaje para su posterior contracción.

1.1 Marco disciplinar

El determinismo en las ciencias naturales, tradicionalmente se enmarca en el paradigma mecanicista, que ha proporcionado grandes aportes a la ciencia desde su concepción y a través del tiempo, las problemáticas actuales plantean un nuevo abordaje, con perspectivas más abiertas y a la vez más rigurosas, donde las miradas unilaterales no son suficientes y es posible brindar varias soluciones, por ende es importante poder establecer y definir los conceptos del determinismo, los sistemas complejos y el pensamiento complejo; brindando así perspectivas, herramientas, metodologías, enfoques y aplicaciones que van desde los problemas cotidianos hasta problemáticas con mayor rigor científico.

1.1.1 Determinismo Desde el Paradigma Newtoniano

Según Chaparro y Ávila (2005) los conceptos básicos de la dinámica se establecieron en el siglo XVII con el trabajo de Newton alrededor del estudio de la evolución temporal sobre los cuerpos celestes. No obstante, en la antigua Grecia se consolidaron dos concepciones filosóficas acerca del movimiento, la primera es el monismo estático de Parménides, el cual sostiene que la realidad es inmutable y el movimiento es una ilusión. Mientras en contra posición se encuentra el monismo dinámico de Heráclito, este afirmaba que la naturaleza se encuentra en constante cambio. Aunque opuestas, estas posturas ofrecieron fuertes asentamientos para la noción que el movimiento en la naturaleza sigue un orden determinado, que brindaron bases para el posterior desarrollo de la dinámica clásica.

Platón apropia de Parménides el énfasis del orden y la inmutabilidad de la realidad, de Pitágoras la aplicación de las matemáticas y geometrías en la cotidianidad, llega a la conclusión de un

universo ordenado y racional, en el cual es posible establecer un orden matemático que expresa regularidad, armonía y simplicidad. Desarrolla una proyección unitaria y general de la realidad que se puede ver en la tendencia de las explicaciones reduccionistas (Chaparro & Ávila, 2005).

De acuerdo con Heylighen, Cilliers, & Gershenson (2006) hasta el siglo XX se consideró como base de la ciencia la noción desarrollada por Newton, en la cual se esperaba que a través de las observaciones realizadas se pudieran reducir a leyes de la mecánica, se adoptó una metodología y una visión del mundo mecanicista general o newtoniana. Gracias a esta gran acogida se empezó a equiparar los términos de pensamiento científico con el de pensamiento Newtoniano. El motivo de la influencia radica en su paradigma mecanicista, cuya convicción se sostiene en la simplicidad y la aparente integridad que ofrece. Su gran predominio se da gracias a las aplicaciones científicas, su desarrollo intuitivo y el sentido común.

Los elementos de la ontología newtoniana incluyen la materia, el espacio y el tiempo absolutos, en los cuales esta materia se desplaza. En el mejor de los casos, pueden ser considerados como epifenómenos, es decir, disposiciones específicas de partículas en el espacio y el tiempo. (Heylighen, Cilliers, & Gershenson, 2006).

La lógica subyacente en la ciencia newtoniana, aunque sencilla de enunciar, encierra implicaciones profundas. Su principio más reconocido, fue formulado inicialmente por Descartes para posteriormente ser retomado por Newton, Este es el principio del reduccionismo el cual consiste en descomponer los fenómenos complejos en sus componentes individuales para facilitar su comprensión. Bajo esta lógica, el objeto de estudio se aleja de cualquier interferencia externa, garantizando la neutralidad y objetividad del observador. Siguiendo a Grondin (2006), el reduccionismo no es solamente técnico, sino que tanto su uso como su crítica implican una visión particular de lo que es el mundo.

El potencial que logro alcanzar esta concepción fue eminente, desde la construcción de modelos de organización social, el desarrollo de la ciencia clásica y la revolución industrial. Najmanovich (2019) resalta las siguientes características centrales de la ciencia moderna: Modelos ideales universales; Metodología única; Linealidad; Dinámica conservadora; Regularidad-precisión-exactitud; Elementos aislados y leyes deterministas y contextos inertes.

Una vez dividido algo en sus partes se debe escalar paso a paso y en orden hasta el conocimiento más compuesto. Visto así, el cuerpo compuesto se establece como una relación lineal entre sus partes, esto es, el todo es la suma de sus partes (Lora, 2019).

Fernández (2016) sintetiza la noción de linealidad y sus propiedades en la ciencia tradicional de la siguiente manera:

“(1) Proporcionalidad: pequeñas causas provocan pequeños efectos (2) Aditividad: el todo es igual a suma de las partes (3) Replicación: la misma acción en las mismas condiciones producen el mismo resultado y (4) Relaciones claras entre causa y efecto: basta conocer un poco acerca del comportamiento de un sistema para conocerlo por completo” (Fernández, 2016, pág. 108)

Estas características son fundamentales para esta investigación y se abordan a continuación.

1.1.2 Aditividad

Según Chaparro y Ávila (2005) al comprender las partes que conforman un sistema, se puede comprender el sistema en su conjunto. Esto implica que la totalidad del sistema es equivalente a la suma de todas sus partes individuales.

El termino consiste en la propiedad que posee un sistema en descomponer sus partes básicas constitutivas y luego ser armado nuevamente. La expresión matemática: una función f es lineal si es aditiva y multiplicativa por una constante (escalar), esto es, f es lineal si:

$$F(x + y) = F(x) + F(y)$$

$$F(c \cdot x) = c \cdot F(x)$$

Cabe hacer la aclaración que para que un sistema se pueda describir bajo la Aditividad, requiere que la interacción entre las componentes de este no exista pues, solo de esta manera se puede dividir todo para su posterior unión.

Para el análisis del movimiento parabólico se descompone en dos dimensiones: el movimiento en el eje horizontal habitualmente llamado eje “X” el cual se trata como un movimiento Rectilíneo uniforme y el movimiento en eje vertical “Y” un movimiento uniformemente acelerado. Después

se realiza una suma vectorial de los dos componentes del movimiento resultando un vector que describe el movimiento en cada instante.

1.1.3 Replicación

En el ámbito literario, no se ha alcanzado un consenso generalizado respecto a la replicación, muchos metodólogos consideran ampliamente que la replicación es una característica de la ciencia, al mismo tiempo se desconoce hasta qué punto los resultados científicos reales son replicables.

Replicar un experimento implica realizar uno similar con el fin de obtener un resultado análogo. La evidencia obtenida de dos fuentes independientes es más sólida que la evidencia obtenida dos veces de la misma fuente (Guttinger, 2020).

Siguiendo a Güttinger, la replicación directa se debe aplicar el mismo protocolo experimental al mismo tipo de materiales, por ejemplo, individuos de la población original estudiada. Además, dicho experimento debe dar un resultado igual o al menos similar, ser menor o mayor que el original efecto, obtenido originalmente.

El principio de replicación consiste en el factor de tener conocimiento de las condiciones iniciales, de tal manera que si se pueden replicar las mismas condiciones se reproduciría el mismo efecto sin ninguna alteración, a su vez se puede dar en un sentido contrario, al conocer el efecto se pueden corroborar las condiciones iniciales en las cuales se desarrolló el evento.

Es pertinente distinguir la diferencia entre los conceptos de "replicabilidad" y "replicación"; Una replicación es un intento real de reproducir un experimento anterior o el resultado de tal intento, mientras que la "replicabilidad" es una cualidad, de un experimento/observación o de un hallazgo científico. Una replicación exitosa es un paso hacia la corroboración de la hipótesis reevaluada, mientras que una replicación fallida es un paso hacia su falsificación. (Miłkowski, Hensel, & Hoho, 2018).

1.1.4 Relaciones claras entre causa y efecto - Proporcionalidad

Se entiende por causalidad a la relación entre eventos, ordenados temporalmente, donde los sucesos del pasado explican los eventos del futuro. Existe una relación lineal entre la causa y el

efecto, en lo cual no hay múltiples causas con un efecto, ni una causa con múltiples efectos, esto lleva a soluciones regulares proporcionales a una relación, lo que implica una mayor acción del agente. (Garcia, 2021).

En consecuencia, en la investigación científica, la observación objetiva es fundamental. Esta forma de observar implica mantener condiciones que no alteren el objeto estudiado y eviten cualquier interferencia entre el observador y lo observado. Esta idea se basa en la posibilidad de cuantificar la realidad, es decir, comprender los fenómenos a través de mediciones y datos concretos. Como destacan Chaparro & Ávila (2005), la cuantificación es una herramienta clave para entender diversos aspectos de la realidad.

Una de las expresiones que define la relación de causa y efecto, utilizada con gran frecuencia es: La definición de MoreschI (2001).

$$C \rightarrow E;$$

“Se pueden leer la siguiente expresión como C implica E o si sucede C entonces ocurre E, donde se puede afirmar que C aparece como causa efecto E.” (MoreschI, 2001, pág. 374).

Las ecuaciones dinámicas de la física son deterministas de modo tal que, al tener conocimiento con exactitud de los datos iniciales, es posible calcular su evolución temporal del evento (Chaparro & Ávila, 2005).

1.1.5 Indeterminismo en la ciencia y sistemas complejos

En el siglo XIX surgieron algunas limitaciones en torno al determinismo, en las cuales se enmarca el no poder poseer el conocimiento completo de las condiciones iniciales del problema y la dificultad que se presentó a la hora de resolver un sistema físico conformado por grandes cantidades de partículas como: los gases, líquidos y los sólidos que dieron origen a la mecánica estadística.

El escocés James Clerk Maxwell es conocido por su trabajo en la unificación de las leyes de la electricidad y el magnetismo, sus contribuciones en la física fueron más allá de una solo área, se considera el padre de la mecánica estadística y de la automática, el físico brindó pilares para la

teoría del caos moderna, así se evidencia en una de sus conferencias en Cambridge en marcado por la sensibilidad de las condiciones iniciales.

“Es claro que la existencia de condiciones inestables hace imposible la predicción de futuros eventos, si nuestro conocimiento del estado presente es solo aproximado y no exacto.” (Maxwell, 1873, citado por Fernández, 2016, p. 112).

El físico Max Born concluye que el determinismo relacionado habitualmente con la mecánica clásica no es real, pues no es posible conocer con precisión las infinitas condiciones iniciales en un experimento físico. En su discurso, Born (1955) expone que el determinismo mecánico se ha convertido gradualmente en un acto de fe, cuestionando así la pertinencia de mantener estos imaginarios.

Cabe hacer la siguiente aclaración, los sistemas dinámicos se definen como un sistema que evoluciona en el tiempo ya sea de forma lineal o no lineal. Los sistemas no lineales son aquellos en los que la relación entre las variables no es proporcional, lo que genera comportamientos complejos e impredecibles. Los sistemas caóticos son sistemas no lineales que se caracterizan por su extrema sensibilidad a las condiciones iniciales, lo que provoca que pequeñas variaciones generen resultados completamente diferentes, haciéndolos impredecibles a largo plazo.

El término “no lineal” se usa en contraposición al “lineal”, ya que la noción de linealidad se utiliza gracias a su sencillez matemática. Sin embargo, en la naturaleza las interacciones tienden a ser mucho más complejas, lo que provoca que la mayoría de los sistemas dinámicos reales sigan un comportamiento no lineal.

En 1964 el meteorólogo Edward Lorenz desarrolla un sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias para describir el movimiento de un flujo bajo la acción de gradiente térmico al momento de brindar una respuesta numérica apoyado por su ordenador. Logra visualizar en su máximo esplendor la dependencia sensible a las condiciones iniciales, de modo que pequeñas variaciones en la configuración de las condiciones iniciales en su computadora conllevaba soluciones terriblemente diferentes. En 1971 los físicos David Ruelle y Floris Takens en sus investigaciones en flujos turbulentos introducen el término de atractor extraño, el cual a grosso modo se define como objeto geométrico de carácter atractor.

El término de ciencias de la complejidad se establece en 1984 en el Instituto de Santa Fe, lo definen como conjunto de elementos o componentes que interactúan entre sí de manera dinámica e interdependiente, generando comportamientos y propiedades emergentes que no pueden explicarse únicamente analizando las partes por separado (Gell-Mann, 1995).

"Un sistema complejo es un conjunto de elementos activos que interactúan dinámicamente, produciendo propiedades emergentes impredecibles, las cuales requieren del análisis tanto de las partes como de sus interacciones en un nivel sistémico integral. La complejidad radica en la interdependencia, la adaptabilidad y la capacidad del sistema para autoorganizarse sin control centralizado" (Gell-Mann, 1995, pág. 17).

Este instituto ha desempeñado un papel crucial en el campo de la investigación científica en los sistemas complejos, con un enfoque interdisciplinario para comprender los fenómenos como el origen de la vida, la evolución biológica, la dinámica de los ecosistemas, el sistema inmunitario de los mamíferos, el aprendizaje y los procesos mentales en los animales (incluido el hombre), la evolución de las sociedades humanas, el comportamiento de los inversores en los mercados financieros y el empleo de programas y/o equipos informáticos diseñados para desarrollar estrategias o hacer predicciones basadas en observaciones previas.

Aunque Jörg (2011) señala que las nuevas ciencias de la complejidad no deberían entenderse bajo un nuevo paradigma; bajo los términos de Khun, no pretende reemplazar la ciencia "normalizada", sino asumirse como complementaria; es decir, no se trata de cambiar la forma de resolver problemas, sino de aportar una perspectiva adicional.

1.1.6 Definición y características de los sistemas complejos

La palabra complejidad proviene de "complectere" cuya raíz de origen latino es "plectere" que significa enlazar, trenzar, unir. El "com" hace referencia a la dualidad de dos elementos opuestos que se entrelazan, en consecuencia, no puede ser separado sin afectar su integridad o existencia. No se puede reducir a sus componentes más simples y por ende no es predecible. Con la célebre frase *"el todo es más que la suma de sus partes"*.

La complejidad puede tomar diferentes connotaciones dependiendo de la disciplina en relación con los diversos sistemas. Las ciencias de la complejidad nacen por la búsqueda de explicar fenómenos por medio de nuevas tecnologías y herramientas, este concepto encierra un marco amplio en la teoría de sistemas, denotando una revolución en la comprensión de sistemas en los cuales su predicción y control presentan resultados no deterministas (García, 2021).

Mitchell (2009) brinda una definición de lo que se considera un sistema complejo: “Es un sistema en el cual redes de componentes sin un control central y con reglas simples de operación dan lugar a una conducta colectiva compleja, a procesamiento sofisticado de información y a adaptación” (pág. 13).

Si bien la definición de los sistemas complejos que comparte algunos rasgos entre sí no se ha desarrollado una ciencia unitaria, con acuerdos explícitos entre los principales pensadores o corrientes que lo conforman. Se suele hablar en plural, “ciencias de la complejidad”, ya que está conformada por varios afluentes. Las interacciones entre los componentes de un sistema y sus mecanismos de feedback contribuyen a la complejidad y no linealidad dentro del mismo, estos factores aumentan su sensibilidad a las condiciones iniciales, propio de un comportamiento caótico.

Los sistemas complejos presentan algunas características que son fundamentales para su estudio y clasificación en la que se enmarcan: variaciones e interacciones entre los diferentes componentes, la capacidad de evolución de un sistema que es altamente sensible a las condiciones iniciales, un diseño complejo en los cuales se destacan el número de componentes, la complejidad de sus interacciones, la capacidad de autoorganización, generación de patrones y almacenamiento de la información (Ladyman, Lambert, & Wiesner, 2013).

Fernández (2016) señala las siguientes propiedades para los sistemas no-lineales: “No hay proporcionalidad entre causa y efecto, se presentan Emergencia, la adaptación, dependencia sensible a las condiciones iniciales y la no linealidad puede generar inestabilidades, discontinuidades e imprevisibilidad, la flexibilidad, la innovación y capacidad de reacción” (pág. 109).

Como aporte del presente trabajo, se presentan de manera general los siguientes aspectos:

1.1.7 Adaptabilidad

Se considera como el cambio del comportamiento de un sistema en respuesta a diferentes condiciones o situaciones del entorno (Tu & Rappel, 2018). Un ejemplo de ello es un ecosistema compuesto por bacterias y moléculas que, al enfrentar cambios en factores como la temperatura o los nutrientes, modifican su actividad o estructura para seguir funcionando. Este ajuste continuo ilustra cómo el sistema responde a las variaciones del entorno para mantenerse equilibrado.

Señala Holland (2012) que es muy típico de los sistemas caóticos no alcanzar una estabilidad; nunca llegan al equilibrio, están continuamente produciendo nuevos elementos, nuevas especies, nuevos mecanismos de comercio, están siempre en movimiento. “De hecho, normalmente, cuando un sistema complejo adaptativo se estabiliza y llega al equilibrio, se muere” (Holland, 2012, pág. 229).

1.1.8 Emergencia

La propiedad de emergencia aparece en los fenómenos cuando se crean nuevos procesos de autoorganización (Fernández, Carlos, & Gershenson, 2014). Dada esta propiedad donde las partes del sistema interactúan no se puede concebir el principio de aditividad, es decir, no se puede separar el sistema en sus componentes fundamentales y luego volverlo a unir como sistemas, de modo que el todo es más que la suma de sus partes.

Estos sistemas se basan en una dinámica no-lineal, ya que no existe una relación de proporcionalidad entre las causas y sus efectos globales. En este sentido, son sistemas extremadamente sensibles a las fluctuaciones y pequeñas perturbaciones que pueden provocar grandes cambios a diferentes escalas como lo John (2004).

De Jesús et al. (2007) enmarca la propiedad que un todo será emergente si se produce mediante interacciones causales entre sus partes componentes. Estas interacciones ejercen capacidades de afectar y ser afectadas, constituyen el mecanismo de emergencia que yace detrás de las propiedades del todo.

Los sistemas complejos son susceptibles a cambios, emergen interacciones en escalas pequeñas, que afectan a escala media y posteriormente a gran escala, este se convierte en un elemento fundamental para los sistemas complejos. El poder analizar estas propiedades emergentes visibles cada vez mayores brinda la idea de robustez del sistema desde una mirada micro a lo macro.

Un ejemplo es el efecto que provocan las vacunas sobre un organismo, donde al introducir una pequeña cantidad de antígenos en el torrente sanguíneo provoca un cambio brusco en todo el sistema inmune, que aprende mediante la creación de anticuerpos a preservar de una enfermedad.

1.1.9 Causalidad no lineal

La proporcionalidad entre la causa y efecto se ve afectada, ya que una consecuencia desproporcionada puede ser generado por causas mínimas. Esto debido a que los sistemas caóticos tienen gran sensibilidad a las condiciones iniciales. Debido a esto, las trayectorias de dos esferas en el juego de Pinball son diferentes a pesar de que las condiciones de partida sean prácticamente iguales.

Es decir, la imposibilidad de mediciones absolutamente exactas de las condiciones iniciales vuelva imprevisible la evolución de un sistema; bajo las mismas leyes, diferentes condiciones iniciales producen diferentes evoluciones en el tiempo.

Lo expresa de mejor manera en su investigación Ivarola, García, & Szybisz, (2017).

“El sistema tiene gran cantidad de elementos, altamente conectados entre sí y con alta posibilidad de ser influidos por el contexto, que va cambiando de acuerdo con la dinámica de dicho sistema. En contraposición a la linealidad expuesta en $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, en un sistema complejo cada elemento puede afectar al otro. Por ejemplo, B puede afectar tanto A como D (además de C); ídem con el resto de los elementos.”(pág. 83).

Los aspectos mencionados son importantes para los propósitos de este trabajo, pues permitirán enmarcar los análisis realizados por los estudiantes en distintos niveles de complejidad.

1.2 Marco pedagógico

El concepto de pedagogía difiere según la corriente teórica seguida, por ende, no hay una única acepción, Se ha establecido como ciencia, arte, disciplina y saberes, manteniendo en común la relación con la educación.

De acuerdo con Di Caudo (2013) la pedagogía es una ciencia que aborda el fenómeno educativo en toda su complejidad, integrando no solo una visión científica sino a su vez técnica y filosófica, por una parte, la pedagogía científica se centra en la realidad dinámica del ser de la educación, la pedagogía teórica proporciona fundamento a la educación dado que incluye sus principios y reflexiones, por último la pedagogía tecnológica se ocupa de la aplicación práctica de los procedimientos, recursos y medios que permite concretar los lineamientos establecidos en la pedagogía teórica.

Fernández et al. (2024) señalan que durante muchos años la enseñanza tradicional ha sido el enfoque predominante. Su orientación se centra en el docente como fuente principal de conocimiento pasando de una generación a otra, donde los estudiantes adoptan un rol pasivo como receptores de información. Con el paso del tiempo se evidenció que este modelo no era suficiente para llevar a los estudiantes a nuevos retos que se presentaban. Fue así como, a inicios del siglo XX se origina el movimiento denominado como “Escuela Nueva”, que tiene como objetivo buscar los cambios en la educación tradicional generando nuevos estilos de enseñanza, donde el protagonista es el estudiante y objeta el aprendizaje memorístico (Muntaner et al. 2020).

1.2.1 Educación tradicional

La educación tradicional es un modelo pedagógico centrado en la figura del profesor como principal transmisor del conocimiento, en el que los estudiantes desempeñan un rol pasivo, dedicándose principalmente a la memorización y repetición de contenidos. Este modelo prioriza la transmisión unidireccional de información desde el docente hacia el alumno (Galván & Siado, 2021).

Prieto y Contreras (2008) brindan una crítica sobre las prácticas evaluativas, la cual se enmarca en gran parte en la reproducción y control del conocimiento, reduciendo la evaluación a un sentido simple de comparación de repuestas según pertenezcan o no a la trasmisión. A su vez,

Abramos & Sorondo (2023) señalan que la enseñanza tradicional se reduce a un proceso lineal de entrega de insumos y obtención de productos, el aprendizaje estaría referido a un simple proceso de acopio de datos e informaciones para ser reproducidas lo más puntualmente posible, a su vez los docentes que enseñan una disciplina de naturaleza “objetiva” utilizan instrumentos evaluativos como pruebas de memoria, selección múltiple o problemas planteados, los cuales su resolución se enmarca en repuestas cortas y precisas destacando vértices del pensamiento vertical.

Según Bono (1970) El pensamiento vertical (pensamiento lógico o lineal) se desliza en una dirección definida de manera precisa, con el objetivo de vislumbrar una solución concreta partiendo en tres principios, que se describirán a continuación.

1)Disyunción: Este principio tiende a aislar elementos y considerar los objetos como entidades independientes de su entorno. No reconoce las conexiones y no percibe las relaciones entre las especializaciones. Desde una edad temprana, la educación en la escuela inculca el hábito de separar conocimientos, intereses y realidades, fragmentándolos de su contexto. Esta tendencia se ha mantenido, o aún persiste, en ámbitos como la familia, la iglesia y la empresa.

2)Reducción: Este principio busca explicar la realidad a través de uno de sus elementos, ya sea psíquico, biológico, espiritual o social. Considera el mundo como una máquina perfecta y se satisface al establecer leyes generales, sin reconocer la complejidad intrínseca de la realidad y de la experiencia humana. La sociedad urbana occidentalizada, con su orientación eurocéntrica o estadounidense, ha llevado a especializar, fragmentar el conocimiento y convertir en expertos en áreas aisladas.

3)Abstracción: Busca establecer leyes generales, pasando por alto las particularidades de las situaciones específicas de las que emergen. A menudo, numerosos profesionales, como entrenadores, aplican generalizaciones sin prestar atención a la realidad inmediata de las personas o grupos que tienen frente a ellos, lo que resulta en asignaciones erróneas.

1.2.2 Complejidad del pensamiento y educación

Edgar Morin se considera como el padre del pensamiento complejo, en su vasta investigación se plantea la existencia de dos paradigmas en la producción del conocimiento, el de la simplicidad y el de la complejidad. El primero ya se explicó por ende se dar paso a la descripción en el paradigma complejo.

El investigador mexicano Enrique Luengo (2018) brinda una perspectiva moriana desde el abordaje de los sistemas complejos.

“Es una perspectiva metodológica, técnico o procedimental que utiliza lenguajes formales, modelos matemáticos y simulaciones computacionales aplicados al estudio y solución de problemas complejos ambientales, sociales, organizacionales, económicos o de otro tipo.”
(Luengo, 2018, pág. 75).

El pensamiento complejo busca identificar las conexiones entre las cosas, diferenciarlas sin separarlas, se enfrenta constantemente a la dualidad entre comprender sin fragmentar ni reducir, y reconocer la naturaleza inacabada e incompleta de todo conocimiento.

Conceptos como la teoría de sistemas adaptativos complejos, la dinámica no lineal, los sistemas dinámicos, la teoría del no equilibrio y el caos se entretajan en la profundidad del pensamiento complejo permitiendo que el sujeto comprenda conceptos no lineales sino más bien guiarlo a la multidimensionalidad considerada como la transformación que supera la visión fragmentada del conocimiento lineal.

Juárez y Salinas (2012) mencionan que dentro de los propósitos del pensamiento complejo están:

- Romper con la idea de la separación del sujeto y el objeto.
- Desligarse del método cartesiano.
- Desvincularse del orden determinista.
- Romper con el pensamiento simplificador.

Sin embargo, nunca niegan que el conocimiento reflejado en la ciencia y la tecnología haya generado cambios positivos en las sociedades. Morin insiste, sobre todo, en que estos

conocimientos han llegado, a lo largo de los siglos, al extremo de borrar y desconocer la naturaleza misma.

Pereira (2010) documenta la nueva visión “global y sistémica”, destaca la importancia de poder relacionar conocimiento científico con el desarrollo de un currículum con un enfoque sistémico. Pero no solo se trata de brindar herramientas desde la ciencia, también desde las humanidades (las artes, la literatura y la filosofía) que permiten ver las complejas relaciones del ser humano con el otro.

Cabe destacar que una de las características primordiales del enfoque sistémico es la interdisciplinaridad. Debido a la gran cantidad de variables que interviene en la dinámica y el funcionamiento de las totalidades complejas, se hace indispensable un abordaje desde las distintas aristas. No se trata de llegar a abordar una visión tajante desde cada área, sino en una forma de afrontar el estudio científico de manera integral.

Morin (2004) propone los puntos indispensables de su reforma y los principios que sirven de guía para un pensamiento vinculante:

Principio sistémico: La unión del conocimiento de las partes con el conocimiento del todo cuyo objetivo es luchar con la idea reduccionista(Simplificada), que el todo es tan solo la suma de las partes.

Principio holográfico. El menor punto de la imagen del holograma contiene la casi totalidad de la información del objeto representado, aquello presente en toda organización compleja: la parte está en el todo y, a su vez, el todo está inscrito en la parte.

Principio de realimentación. Permite el conocimiento de los procesos autorregulados (feedback) y que rompe con el principio de la causalidad lineal. Un caso es el procesamiento de la información que le permite a una máquina regular su comportamiento es un ir y venir permanente en la información.

Principio del bucle recursivo. Conocido como bucle generador. los efectos y los productos son, asimismo, productores y causantes de lo que los produce.

Principio de autonomía/dependencia. El principio que dice que los seres vivos desarrollan su autonomía en dependencia de su ambiente (en el caso de los seres humanos, de su cultura).

Principio dialógico. Este principio asocia dos términos a la vez complementarios y antagonistas. Permite mantener la dualidad en el seno de la unidad.

De esta manera Morin destaca la necesidad de una reforma del pensamiento que va más allá de un intento por reorganizar el conocimiento de manera diferente, pero no se limita a una mera reestructuración de los contenidos curriculares en los diferentes niveles de la educación.

Estos elementos son claves para el próximo capítulo, ya que a partir de estos se van a generar estrategias metodológicas eficientes que permitan alcanzar los objetivos planteados.

1.2.3 Metodologías activas

La tendencia actual promueve el aprendizaje autónomo, la enseñanza compartida y basada en la experiencia, haciendo que el acto del conocer será propio y no una obligación (Madrid et al. 2022), es en este punto donde las metodologías activas son necesarias.

Las metodologías activas se entienden por aquellos métodos, técnicas y estrategias que utiliza el docente para convertir el proceso de enseñanza en actividades que fomenten la participación de los estudiantes (Puga & Jaramillo, 2015). Son estrategias de enseñanza que propone el docente para involucrar al estudiante en su propio aprendizaje, llevándose de forma constructiva para el desarrollo de competencias específicas que garanticen su formación.

Suniaga (2019) resalta las características principales de esta metodología: 1) el estudiante es el centro del proceso de enseñanza, se reconoce que cada individuo tiene un estilo propio de aprendizaje y ritmos de desarrollo diferentes, 2) el trabajo en equipo, el intercambio de ideas, el debate constructivo y la resolución conjunta de problemas, 3) visión compleja de la realidad, 4) integración de las tecnologías de información y comunicación (TIC), 5) pensamiento crítico y 6) promover las actividades prácticas y vivenciales que permiten a los estudiantes explorar conceptos de manera tangible.

Adema se resalta la necesidad de un trabajo colaborativo entre docentes y estudiantes o entre los estudiantes con el material de apoyo involucrado, con el propósito de una comprensión profunda del contenido.

Siguiendo a Suniaga (2019), se estipulan tres componentes para poder aplicar una metodología activa: un escenario donde se imparte la clase que no corresponde precisamente con un aula, ya que pueden ser en diferentes escenarios como un laboratorio, un quirófano, una empresa entre otros; actores referidos a los miembros de la comunidad educativa; por último, se plantea una realidad que debe ser abordada, la cual presenta un problema o una característica susceptible de ser evaluada, cuestionada o analizada conforme a los lineamientos establecidos por el docente o definidos en el programa académico.

Las metodologías activas comprenden una amplia variedad de enfoques, cada uno con características y procedimientos particulares. En este sentido, la presente investigación no se adscribe de manera estricta a un modelo específico; sin embargo, incorpora y pone en práctica los principios esenciales que definen a las metodologías activas, tales como el estudiante es el centro del proceso, la participación activa del estudiante, la construcción colaborativa del conocimiento, integración de las TIC y desarrollo del pensamiento crítico.

Esta metodología promueve que los estudiantes asuman el rol activo en la planificación, ejecución, y evaluación del trabajo, establecer objetivos personales, elección de estrategia adecuadas y reflexionar sobre su proceso (Alcalá del Olmo et al., 2020).

1.2.4 Estrategia Aprendizaje

Se concentran en los recursos y habilidades que el estudiante debe tener en su proceso de aprendizaje, las estrategias de enseñanza se enfocan en aquellos instrumentos y recursos de los que se proveerá el docente para desarrollar e implementar el proceso de aprendizaje.

Biggs (2005) la define como “Los procesos de aprendizaje que emergen de las percepciones que los estudiantes tienen de las tareas académicas, influidas por sus características de tipo personal” es decir no se pueden imponer, ni se trasmite a través de la enseñanza directa, sino que se crea mediante las actividades de aprendizaje.

Un enfoque de aprendizaje es la ruta preferente que sigue un individuo en el momento de enfrentar una demanda académica en el ámbito educativo; está mediado por la motivación del sujeto que aprende y por las estrategias usadas.

De igual manera Biggs (2005) establece dos tipos de enfoques: El primero es el superficial que favorece el aprendizaje al pie de la letra de contenidos seleccionados en vez de la comprensión de los mismos. A menudo los enfoques de enseñanza y de evaluación promueven este tipo de enfoque porque no están alineados con respecto a las metas de la enseñanza de la materia. El segundo es el profundo, que destaca la necesidad de abordar la tarea de forma adecuada y significativa, de manera que el estudiante trate de utilizar las actividades cognitivas más apropiadas para desarrollarla.

2.2.5 Estrategia Enseñanza

Las estrategias de enseñanza son una serie de actividades de aprendizaje dirigidas hacia los alumnos y que están diseñadas y adaptadas a las características del medio y, especialmente, al estudiante.

Trigwell & Prosser (2004) expone cinco tendencias de enfoques de enseñanza que mantienen una estructura jerárquica, de la siguiente forma:

- Enfoque A: estrategia centrada en el docente con la finalidad de transmitir información a los estudiantes.
- Enfoque B: estrategia centrada en el docente con la finalidad de adquirir conceptos de la materia estudiada.
- Enfoque C: estrategia de interacción docente/estudiante con la finalidad de que los estudiantes adquieran los conceptos de la disciplina.
- Enfoque D: estrategia centrada en el estudiante con la finalidad de incentivar en ellos el desarrollo conceptual, la construcción de sus conocimientos.
- Enfoque E: estrategia centrada en el estudiante con la finalidad de incentivar en ellos el cambio conceptual.

Para el desarrollo de la estrategia de enseñanza-aprendizaje en este proyecto, se adoptará bajo la orientación de las metodologías activas con enfoque de enseñanza (E) combinado con un enfoque de aprendizaje profundo. Esta integración busca fomentar en los estudiantes sentimientos positivos como el interés, el sentido de la importancia, la sensación de desafío y la euforia, lo que a su vez impulsará su decisión y motivación por aprender de manera significativa y duradera (Freeman et al. 2014).

1.2.6 Recurso didáctico

García et al. (2023) definen los recursos didácticos, en el contexto de las metodologías activas, como herramientas y materiales que facilitan un proceso interactivo y participativo donde se potencia la implicación responsable del estudiante y se enriquece tanto a docentes como a estudiantes. los recursos didácticos en metodologías activas son elementos que:

- Facilitan la participación y la interacción en el proceso educativo.
- Permiten que el estudiante sea agente activo en la construcción del conocimiento.
- Transforman la relación educativa en un proceso colaborativo y reflexivo.
- Contribuyen a un aprendizaje significativo y contextualizado.

Algunos de los recursos didácticos que van a ser empleados en la estrategia enseñanza-aprendizaje son los siguientes:

Uso de tecnologías de información y comunicación: Favorecen el aprendizaje junto con la adquisición de nuevos conocimientos, estimula la creatividad de analizar información en tiempo real, la autonomía y el uso de equipos tecnológicos (Salcedo, 2023).

Gómez et al. (2021) resalta la necesidad que los docentes consideren métodos y propuestas innovadoras que integren estas herramientas, permitiendo así una mayor interacción y dinamismo en el aula. aumenta su motivación e interés por los contenidos al hacer las clases más atractivas y significativas incorporando las TIC para el enriquecimiento en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Prácticas experimentales: Para Yepes(2013) es un recurso que integra el método científico en el aula, promoviendo la exploración, la manipulación y la vivencia directa de los contenidos, lo que contribuye a un aprendizaje más completo y duradero.

2. Metodología

2.1 Tipo de Investigación

La investigación que se emplea para este trabajo es de corte cualitativo, Quecedo & Castaño (2002) define esta metodología como la investigación que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable.

Siguiendo con Quecedo & Castaño (2002) esta metodología cumple con las siguientes características:

- La investigación cualitativa es flexible en cuanto al modo de conducir los estudios. Se siguen lineamientos orientadores, pero no reglas.
- Entiende el contexto y a las personas bajo una perspectiva holística.
- No se busca “la verdad o la moralidad”, sino una comprensión detallada de las perspectivas de otras personas.
- Todos los contextos y personas son a la vez similares y únicos. Son similares en el sentido que entre cualquier escenario o grupo de personas se pueden encontrar algunos procesos sociales de tipo general.
- Muestra gran sensibilidad al contexto.
- Los datos se interpretan desde un contexto, no generalizaciones.

La población en la cual se implementará la estrategia de enseñanza-aprendizaje está conformada por estudiantes de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, que cursan la asignatura Programación de Computadores II 2024-2. Esta población se caracteriza por estar ubicada entre el cuarto y sexto semestre, lo que implica que, bajo la malla curricular, los estudiantes ya han abordado contenidos relacionados con la física clásica y se encuentran próximos a iniciar procesos de investigación, en los cuales podrán enfrentarse a nuevos enfoques y cambios de paradigma.

2.2 Ruta metodológica.

Para el desarrollo de la investigación y su correcto desenlace se realiza la siguiente ruta metodológica.

- 1) Revisión Documental: En esta etapa se llevó a cabo una búsqueda literaria exhaustiva sobre modelos pedagógicos, incluyendo los enfoques que integran estrategias de enseñanza y aprendizaje. Se identificaron posturas relacionadas con el pensamiento lineal y el pensamiento complejo junto con información de fenómenos complejos en física y sus implicaciones en el aula, con un énfasis especial en la cavitación hidrodinámica y el modelo de autómatas celulares Nagel-Schreckenberg.
- 2) Planeación: La estrategia de enseñanza aprendizaje se estructuró en cuatro sesiones, cada una con objetivos, recursos y actividades prácticas. Los principios de los sistemas complejos, como la adaptabilidad, la emergencia, la causalidad no lineal y la comprensión del sistema (enfoque sistémico) se abordaron en cada sesión.
- 3) Construcción del Material y elección de herramientas tecnológicas: Se utilizaron recursos tecnológicos como: Microsoft Teams, Genially y Nearpod para facilitar las explicaciones y el registro de datos. Además, se diseñaron actividades prácticas para cada sesión, incluyendo práctica de laboratorio y simulaciones, tales como experimentales sobre cavitación y modelos interactivos de tráfico vehicular, respectivamente.
- 4) Implementación: La estrategia de enseñanza-aprendizaje se implementó con la población ya mencionada y siguiendo lo establecido en la fase de planeación, lo cual permitió incorporar las diferentes estrategias y herramientas previstas.
- 5) Análisis: Los resultados obtenidos se analizaron utilizando un enfoque cualitativo, apoyado en una rúbrica diseñada para ubicar las distintas respuestas de los estudiantes, en diferentes categorías desde el pensamiento lineal y desde el pensamiento complejo. De esta manera, se realizó la comparación entre las evaluaciones de la sesión diagnóstica y la sesión final. Se utilizaron diagramas de barras para visualizar el tránsito desde el análisis lineal al complejo por parte de los estudiantes.

2.3 Revisión documental

La primera fase de la metodología consiste en la revisión y reflexión de documentación bibliográfica, complementada con la lectura de artículos especializados. Este proceso permite construir un marco de referencia sólido que favorezca un escenario de interacción adecuado para el desarrollo de una estrategia enseñanza-aprendizaje. A través de la selección de fenómenos complejos, se busca evidenciar principios fundamentales como la causalidad no lineal, la emergencia y la adaptabilidad, garantizando así una comprensión más profunda de los procesos involucrados. La revisión gira entorno a los siguientes ejes:

- Características del pensamiento lineal y del pensamiento complejo.
- Análisis sobre los aspectos pedagógicos en los que se apoya la investigación.
- Indagación sobre fenómenos que puedan ser abordados por los estudiantes, como parte del proceso del análisis lineal a un análisis complejo, tal como los fenómenos de tráfico vehicular y Cavitación.

2.4. ¿Por qué los fenómenos de Tráfico vehicular y Cavitación?

En esta revisión documental se evidenció que el abordaje de los fenómenos complejos se puede abarcar a partir de diferentes campos del conocimiento, desde las ciencias sociales, ciencias de gestión, pasando por las ciencias naturales, hasta ciencias de la computación. Teniendo en cuenta que la población a la cual va dirigida la estrategia enseñanza-aprendizaje son estudiantes de la Licenciatura de Física, se buscó que los fenómenos pudieran ver reflejados en los tópicos vistos en la carrera o que les brinde herramientas en su futuro laboral, por ende, se escogieron los fenómenos de cavitación hidrodinámica y el autómata celular Nagel-Schreckenberg para el tráfico vehicular.

La razón principal por la cual se decidió tener en cuenta el fenómeno de tráfico vehicular es su relevancia cotidiana. En Bogotá se movilizan cerca de 12 millones de personas al día, cerca del 72% de la población toman un transporte que interacciona con la infraestructura vial de la ciudad entre los que se encuentra el transporte público, vehículos particulares, taxis, motos y bicicletas (Secretaría de Movilidad, 2024). La población objetivo son estudiantes que viven en distintos sectores de la ciudad, cada uno con particularidades, por lo cual permite recolectar información sobre diferentes perspectivas de una misma problemática.

Gao et al. (2025) Definen el tráfico vehicular como un sistema complejo conformando por elementos diversos, por usuarios, conductores, vehículos, caminos, información externa, dinámicas entre otros. La autonomía deriva del hecho que cada participante actúa como una entidad independiente que toma decisiones tales como: la hora de salida, ruta y modo de viaje. En términos generales, en el entorno del tráfico urbano cada vez más complejo y dinámico, surgirán desafíos como la interferencia de múltiples fuentes y la aleatoriedad dinámica.

Kang & Liu (2024) establece que la mayoría de la población utiliza un modelo tradicional de tráfico vehicular que considera únicamente dos variables (tiempo y distancia) lo cual no garantiza ser el más eficiente, en cambio brinda como alternativa contemplar modelos con una gama más amplia de variables complejas que puede generar un sistema modelado para la elección de la ruta vehicular, generando beneficios en la gestión e interacción de transporte, consolidándose una problemática de primer orden.

Examinar los sistemas complejos desde una perspectiva global revela diversos fenómenos emergentes que no pueden comprenderse únicamente agregando las funciones de sus componentes individuales.

Por otra parte, el fenómeno de cavitación se seleccionó gracias a su componente experimental que puede ubicarlo como de experimento discrepante. Este último concepto se desarrollará a fondo más adelante en el documento.

La cavitación implica la formación y colapso de cavidades en fluidos, generando ondas de choque y efectos térmicos. Estos procesos son no lineales y surgen de interacciones locales entre moléculas y burbujas de vapor, Shi et al (2020). La cavitación se auto-organiza en función de parámetros como presión y temperatura, adaptándose a condiciones cambiantes. Esto se observa en la formación y estabilidad de las cavidades. Fleite et al. (2024) han desarrollado modelos que capturan la adaptación del sistema a diferentes condiciones operativas.

La cavitación involucra múltiples escalas y componentes fluidos, superficies y gases, que interactúan de manera interdependiente. como; temperatura, presión, replicabilidad y materiales contribuyen a su complejidad.

García & Catalán (2023) exploran cómo los sistemas complejos se pueden incorporar en la enseñanza de la física, fomentando la interdisciplinariedad y promoviendo que los estudiantes analicen fenómenos reales como ejemplos de sistemas dinámicos, y contribuir a que comprendan mejor la física más allá de modelos lineales.

En la tabla 1 se encuentra condensada las características por las se escogieron estos fenómenos como se muestra a continuación.

Tabla 1 Características de los fenómenos de tráfico vehicular y cavitación hidrodinámica, desde la complejidad.

Características de sistemas complejos	Tráfico vehicular	Cavitación hidrodinámica
No linealidad	Pequeños retrasos o maniobras (frenadas) pueden causar atascos masivos u ondas de choque en el flujo vehicular	Pequeñas variaciones en presión o flujo pueden desencadenar colapsos violentos de burbujas, con efectos desproporcionados (erosión, ruido).
Adaptabilidad	Los conductores adaptan su velocidad y distancia según las condiciones del tráfico semáforos y dinámicas	Adaptación a presión y temperatura para formar y mantener cavidades
Interconexión	Interacción entre conductores, vehículos, infraestructura y circunstancias particulares generan patrones complejos	Las burbujas en el fluido interactúan con el flujo circundante, afectando la presión y la velocidad en el sistema
Emergencia	Atascos o flujos fluidos surgen de las interacciones locales entre vehículos, no de una sola acción individual.	El colapso colectivo de burbujas produce efectos macroscópicos (daño material, ondas acústicas) no predecibles desde el comportamiento de una sola burbuja.

2.5 Recursos didácticos

Anteriormente se abordó lo relacionado con los recursos didácticos, este apartado se centrará en la descripción de los recursos que se va a utilizar en la estrategia de enseñanza aprendizaje.

El primer recurso son las TIC, a las cuales MINTIC se refiere como “el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios; que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, video e imágenes” (MINTIC, 2009).

Sánchez (2015) define las TIC como las tecnologías que se necesitan para la gestión y transformación de la información dentro de las cuales se destacan los ordenadores y programas que permiten crear y modificar, almacenar, proteger y recuperar información de interés para diversos ámbitos.

En el contexto de la escuela estas tecnologías poseen un papel esencial, se han convertido en un facilitador para la democratización de la enseñanza; su pertinencia y adecuada aplicación favorecen a un aprendizaje de calidad. Contribuyendo a una visión novedosa de la escuela contemporánea sin dejar de lado los fundamentos pedagógicos (Gómez et al. 2021).

Estas tecnologías generan procesos interactivos de enseñanza-aprendizaje, transformando el rol del docente. Además de ser gestor y facilitador, el docente puede utilizar estas herramientas para orientar, desarrollar y controlar de manera eficiente el proceso de enseñanza aprendizaje (Granda, Espinoza, & Mayon, 2018).

Se considera que algunas TIC tienen un impacto en la educación (St-Pierre & Kustcher, 2001). Estas tecnologías van a ser empleadas para llevar a cabo la planeación de la estrategia enseñanza aprendizaje en el aula.

- Computadoras y periféricos que puedan manejar, utilizar, almacenar información digital.
- Información digital (Programas de aplicación, páginas WEB, base de datos, programas que administren la información).
- Comunicación digital (foros, audio, videoconferencias, teleconferencias entre otros).
- Sistemas de simulación, sistemas de navegación además de una realidad virtual y sistemas autoría electrónica.

En específico para la elaboración de la estrategia enseñanza aprendizaje se va a utilizar las siguientes TIC.

Teams: Es una plataforma de comunicación y colaboración de tipo software de telecomunicación y mensajería instantánea desarrollada por Microsoft. Esta herramienta se ha utilizado en los últimos años por la Universidad Pedagógica Nacional para organizar cursos y de ser necesario tener sesiones remotas. En la estrategia de enseñanza-aprendizaje se utiliza para poder dejar de manera ordenada las actividades, diapositivas, cuestionarios, y material de apoyo necesario para el desarrollo de las sesiones y la comunicación con los estudiantes.

Nearpod: Es un aplicativo web que permite generar “clases” con la que los alumnos pueden interactuar de manera sincrónica o asincrónica, en esencia se hace uso gracias a que se pueden

integrar diferentes elementos y actividades, juegos, foros, entre otros. La plataforma lleva un seguimiento de las actividades realizadas por los participantes, para ello requiere una conexión a internet y el uso de un ordenador, table o móvil. La plataforma Nearpod se utiliza en las sesiones 1 y 2 para realizar ejercicios interactivos y recolectar las respuestas de los estudiantes con respecto a las sesiones con los problemas planteados.

Genially: Es un software en línea para la construcción de contenido interactivo en específico se utilizó en la creación de diapositivas e infografía promoviendo la participación de los estudiantes.

Formularios Google: Es un software que permite generar encuestas, pruebas o formularios con el fin de recolectar datos específicos, esta herramienta se utiliza en las sesiones 3 y 4.

El **simulador del Phet** (Physics Education Technology): Es una herramienta de simulación que proporcionan experiencias educativas interactivas y visuales, permitiendo a los estudiantes explorar fenómenos científicos. Este recurso se utiliza en la sesión 2 para divisar de manera precisa el fenómeno de la cavitación hidrodinámica.

Modelo autómeta celular (CA) el cual se desarrolló, en Visual Basic, con base al modelo Nagel-Schreckenberg y con la finalidad de simular el sistema dinámico complejo del tráfico vehicular como se explicó en secciones anteriores.

2.6 Experimento discrepante

El experimento discrepante presenta una ruta de aprendizaje constructivista que tiene el propósito de crear una disonancia cognitiva en el estudiante y desde este punto estimular la búsqueda de repuestas que los mismos estudiantes generan o que el docente incita. De modo que la práctica experimental da paso a una interacción en el aula diferente a la tradicional, el estudiante es participante y se considera legítimo expresarse tal como y piensa (Barbosa & Morale, 2010).

En su investigación Olga Castiblanco (2021) describe el objetivo de esta tipología “El objetivo es hacer que el estudiante cuestione sus propias respuestas y busque la consolidación de argumentos que le permitan organizar conceptualmente lo que está observando” (Castiblanco, 2021, pág. 50).

El papel del docente se centra en preparar, ejecutar y describir los montajes experimentales, el cómo funciona, sus partes, materiales que está hecho entre otros. Además, el docente genera preguntas como “¿Qué cree que pasaría si hacemos esto?” con la finalidad que los estudiantes generen predicciones sobre lo que ocurrirá, poner en juego su forma de pensar. Los experimentos tienen una predicción que parece obvia, pero al momento de ser ejecutado refute las respuestas del sentido común. El docente organiza de manera individual o grupal las repuestas orales para sintetizar (Castiblanco, 2021).

Los estudiantes son retados a contrarrestar lo que se piensan desde sus conocimientos. El alumno reformula sus hipótesis y busca comprobarlas, verificando su organización conceptual. Poco interesa si la repuesta es la correcta; lo que de verdad se enfoca es si la repuesta lo convence a sí mismo.

2.7 Planeación

El Objetivo de la estrategia enseñanza-aprendizaje es propiciar el proceso de los estudiantes para pasar de una estructura lineal tradicional a una estructura basada en pensamiento complejo, de manera que se permita el análisis de dicho proceso.

La estrategia enseñanza-aprendizaje se estructura en cuatro sesiones, las cuales están relacionadas con los principios de los sistemas complejos, como se muestra a continuación.

Tabla 2 Descripción de las actividades primera sesión.

sesión 1“Rompiendo y reconociendo”		
Propósito de la sesión	Identificar algunas de las idealizaciones que tiene el grupo de participantes en la explicación del fenómeno de cavitación para generar un diagnóstico inicial.	
Actividad	Encargado/s	Resultados esperados
Exposición sobre la estrategia de enseñanza-aprendizaje y la finalidad que tiene el proyecto de investigación.	Docente en formación.	Se espera la adecuada disposición del grupo de participantes. Que los estudiantes entiendan el alcance de la propuesta.
Desarrolló de la práctica experimental: ruptura de botellas mediante la cavitación, bajo la tipología del experimento discrepante Castiblanco (2021).	Docente Asesor. Docente en formación.	Se espera que el experimento realizado por el docente en formación se pueda realizar de acuerdo con lo previsto, de manera que los estudiantes evidencien el fenómeno. Se espera la adecuada disposición frente a la práctica experimental. Los participantes generen interrogantes que serán solucionados y muestren a una actitud participativa.

<p>Réplica del experimento: ruptura de botellas mediante la cavitación, por parte de los estudiantes.</p> <p>Inicialmente se conforman grupos de trabajo de tres a cuatro personas.</p> <p>Se suministra a cada grupo los materiales necesarios, en específico serán: botellas de vidrio, agua, recipiente para residuos, gafas y guantes protectores.</p> <p>Al finalizar la práctica se debe ordenar el espacio utilizado.</p>	<p>Docente Asesor.</p> <p>Docente en formación.</p> <p>Grupo de participantes.</p>	<p>Los posibles escenarios que se esperan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Que todos los grupos repliquen el experimento. 2) Que el experimento sea replicado por algunos grupos. 3) Que algunos grupos puedan tener dificultades, e incluso no poder replicarlo. Este escenario no reviste problema ya que justamente un factor importante de la práctica experimental es el indeterminismo. <p>Independiente del escenario, se espera que los estudiantes planteen hipótesis sobre el fenómeno.</p>
<p>Cierre de sesión.</p> <p>Cada grupo diligencia un formulario, disponible en el aplicativo web “Nearpod”, con el propósito de brindar explicaciones al fenómeno abordado desde la práctica experimental.</p>	<p>Grupo de participantes.</p>	<p>Se espera que los grupos de trabajo plasmen sus hipótesis y explicaciones en la rúbrica evaluativa, respecto a: causas, variables y efectos del experimento, de manera que abarquen la totalidad de los comentarios del grupo.</p> <p>Se pueden presentar las siguientes situaciones: 1) todo el grupo de trabajo esté de acuerdo y lleguen a un consenso y 2) alguno algunos de los integrantes no estén de acuerdo con el resto del grupo, lo cual no constituye un conflicto, pero es necesario plasmar sus opiniones en la rúbrica.</p>

Tabla 3 Descripción de las actividades sesión dos.

Sesión 2 “Mas que burbujas”		
Propósito de la sesión	<p>Reconocer los conceptos y perspectivas del grupo de participantes en la solución sobre el fenómeno de cavitación enfocado en el principio de emergencia.</p> <p>Abordar el principio de emergencia</p>	
Actividad	Encargado/s	Resultados esperados
<p>Análisis del fenómeno cavitación hidrodinámica. Uso del software del Phet para poder ver el diagrama energético del fluido</p>	<p>Docente en formación.</p>	<p>Se espera resolver las dudas que no se pudieron abordar en la sesión anterior.</p> <p>Identificar elementos que caracterizan el fenómeno de Cavitación.</p>
<p>Exposición sobre el Principio de emergencia, desde diferentes campos del conocimiento, mediante la presentación realizada en la plataforma Genially.</p> <p>Discusión dirigida.</p>	<p>Docente en formación.</p>	<p>Los estudiantes planteen interrogantes sobre el principio de emergencia, los cuales deben surgir a partir de la discusión dirigida.</p> <p>Que los estudiantes identifiquen contextos asociados al principio de emergencia.</p>
<p>Taller individual.</p> <p>Se proponen casos específicos para que los estudiantes identifiquen el principio de emergencia y puedan analizar y proponer situaciones en diversos contextos, que deben quedar plasmados en la herramienta tecnológica “Nearpod”.</p>	<p>Docente en formación.</p> <p>Grupo de participantes.</p>	<p>Que los estudiantes exploren el principio de emergencia a través de casos específicos.</p> <p>Se espera que el análisis de los estudiantes mantenga un sesgo hacia un pensamiento lineal, es decir, a comprender los fenómenos de manera secuencial y simplificada, pero de manera gradual se acerquen a estructuras del pensamiento complejo.</p>

Tabla 4 Descripción de las actividades sesión tres.

Sesión 3 “Comprendiendo el sistema”		
Propósito de la sesión		Reconocer los conceptos y perspectivas que tienen el grupo de participantes en la solución de casos reales y explicación de fenómenos enfocado en la comprensión del sistema.
Actividad	Encargado/s	Resultados esperados
Recapitulación sobre la sesión pasada enfocada en el principio de emergencia. Se recolectarán las hipótesis que construyeron los estudiantes en la sesión anterior.	Docente en formación.	Se espera la adecuada disposición del grupo de participantes Aclarar las dudas que el grupo presente con respecto a las hipótesis formuladas en la sesión anterior.
Presentación sobre la forma en que se aborda el análisis de casos reales: el cambio climático y la movilidad vehicular. A partir de estos casos, se responderán a interrogantes claves, incluyendo: cuáles son las causas, qué variables están involucradas y cuáles son las posibles estrategias de solución. enfocado en la comprensión del sistema.	Docente Asesor. Docente en formación.	Se espera la adecuada disposición del grupo en el momento de explicar el abordaje de los fenómenos desde un análisis complejo se plantea (docente asesor y docente en formación). Que los estudiantes identifiquen aspectos relacionados con el análisis de fenómenos reales. Los estudiantes planteen sus dudas.
Los participantes se organizarán en grupos de trabajo de entre tres y cuatro personas. A cada grupo se le asigna una situación específica (que se exponen en la implementación). Los grupos responderá una rubrica de evaluación enfocada en: posibles causas, variables involucradas y posibles estrategias de solución.	Grupo de participantes.	Que los estudiantes realicen análisis en los que se consideren los principios abordados hasta ese momento: principios de emergencia y el análisis sistémico. Que los análisis no sean totalmente desde una perspectiva lineal y se genere reflexión respecto a las múltiples formas de abordar los fenómenos.

Tabla 5 Descripción de las actividades sesión cuatro.

Sesión 4 “La próxima salgo antes”		
Propósito de la sesión		Reconocer los conceptos y perspectivas que tienen el grupo de participantes en la solución de la problemática del tráfico vehicular y explicación de fenómenos que se han construido a través de la estrategia de enseñanza-aprendizaje enfocado en el principio adaptativo, dando paso a la evaluación final.
Actividad	Encargado/s	Resultados esperados
Recapitulación sobre el principio de comprensión del sistema (holística) y discusión sobre casos cotidianos desde la perspectiva de los sistemas complejos que proponen los estudiantes.	Docente en formación. Grupo de participantes.	Los estudiantes planteen interrogantes sobre las sesiones anteriores.

Explicación del principio de adaptación mediante el uso del modelo computacional Nagel-Schreckenberg con la finalidad que los participantes interactúen y evidencien el principio de adaptabilidad.	Docente Asesor. Docente en formación. Grupo de participantes.	Los estudiantes planeen interrogantes entorno al principio de adaptación. Que los estudiantes interactúen con el simulador, basado en el modelo Nagel-Schreckenberg y puedan identificar aspectos relacionados con el principio de adaptabilidad
Los estudiantes se organizan por grupos destacando el factor de residencia (localidades). Cada grupo debe plantear una estrategia para mejorar el tráfico desde el punto de partida (que puede ser la casa de un estudiante) hasta a la universidad.	Grupo de participantes.	Los estudiantes planteen estrategias conducentes a “resolver” un problema de tráfico propuesto por ellos. Los estudiantes planteen Discusión en torno a las exposiciones de sus compañeros . Si bien el propósito central de esta sesión es observar de manera directa cómo los estudiantes aplican y enfatizan los principios de emergencia, análisis de sistemas y causalidad no lineal, también se busca identificar cómo, a partir de un análisis con tendencia lineal, los estudiantes pueden incorporar diferentes herramientas y métodos que complementen y enriquezcan sus procesos de análisis.
Exposición de los estudiantes sobre la problemática que ellos plantean y sus posibles estrategias de solución.	Docente en formación.	Los estudiantes presenten en manera grupal la problemática planteada, las estrategias de solución y las consecuencias que podría tener cada solución.
Cierre de la estrategia de enseñanza-aprendizaje y consolidación de la autoevaluación por parte de los estudiantes hacia la estrategia de enseñanza aprendizaje.	Docente Asesor. Docente en formación.	Se esperas que los estudiantes al finalizar la estrategia de enseñanza-aprendizaje puedan brindar sus reflexiones, cambios, aportes y sugerencias sobre las actividades planteadas. Al finalizar esta sesión, se espera que los estudiantes sean capaces de reconocer e identificar las características principales que diferencian un pensamiento lineal de un pensamiento complejo, a partir del análisis de los fenómenos presentados. Asimismo, se busca que logren asimilar los beneficios de alcanzar un nivel de análisis complementario en el estudio de los fenómenos físicos y su gama de aplicaciones.

2.8 Fenómenos Abordados y Construcción de Material

2.8.1 Tráfico vehicular

El tráfico vehicular es un fenómeno que involucra el desplazamiento organizado (y a veces desordenado) de un gran número de vehículos sobre vías de transporte, interaccionando entre sí, con la infraestructura, y bajo diversas condiciones del entorno (como la densidad del tráfico, la geometría de la vía, las señales, etc).

En el campo de la modelización del tráfico, una de las tendencias más destacadas es el uso de la simulación microscópica. Dentro de este enfoque, los sistemas basados en autómatas celulares (*Celular Autómata CA*, por sus siglas en inglés), los cuales permiten simular redes de tráfico en tiempo real y representan una amplia variedad de fenómenos (Farley, 2012). Estos modelos se fundamentan en la definición de reglas precisas que, en muchos casos, requieren el uso de

sistemas de ecuaciones integrales y diferenciales. De esta manera, es posible representar de forma discreta las dinámicas del tráfico, lo que ha llevado a que los autómatas celulares sean reconocidos como un recurso estadístico ampliamente aceptado para el estudio de este fenómeno.

Ruiz & Tineo (2019) menciona que el término de CA se dio a conocer por medio del modelo de Von Neumann, el cual tenía como objetivo generar un robot que se pudiera auto-reproducirse. (Hedlund, 1969) es reconocido como el pionero en la formalización matemática de la teoría de los autómatas celulares.

En los años 90 Nagel y Schreckenberg generaron un modelo que se popularizó por sus reglas simples de modelización en parámetros como celdas ocupadas por vehículos que conlleva que se desplazan con una velocidad entera V_{MAX} en lugar de solo desplazarse una celda. Además, se integra el frenado aleatorio, en el cual para evitar colisiones los vehículos desaceleran una unidad aleatoria con probabilidad ρ . La velocidad del vehículo en el paso de tiempo K , $V_i(K)$.

K es el tiempo en el modelo discreto, generalmente se refiere al instante discreto de tiempo (ejemplo: $k = 0, 1, 2, \dots$), El término $V_i(K)$ es la velocidad del vehículo en un instante k

El modelo considera la posición donde se encuentra un vehículo o el espacio vacío y el avance del está dado por:

1. $V_i\left(K + \frac{1}{4}\right) = \min(V_{max}, V_i(k) + 1)$.
2. $V_i\left(K + \frac{2}{4}\right) = \min(H_i, V_i(k + 1/4))$.
3. Con probabilidad ρ , $V_i\left(K + \frac{3}{4}\right) = \max\left(V_i\left(k + \frac{2}{4}\right) - 1, 0\right)$.
4. Cada vehículo avanza v espacios.

Este esquema se puede ver reflejado en la figura 1.

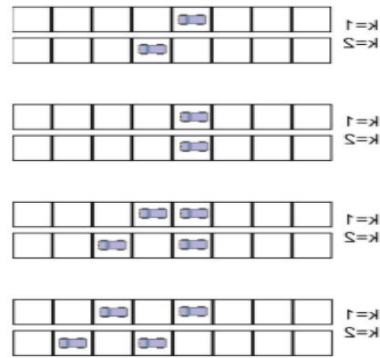


Figura 1 Estados inicial y final después de tiempo con V_{max} la estrategia ilustra un vehículo. Tomado de Alexander Farley, P. 9 (2012).

Desarrollo de un modelo autómatas celulares (CA), como parte de esta investigación se programó un modelo vehicular, CA, con base al modelo Nagel-Schreckenberg y con la finalidad de simular el sistema dinámico complejo del tráfico vehicular, tal como se explicó en secciones anteriores y como se ilustra en la Fig2.

En el desarrollo de esta investigación, uno de los aportes más relevantes es la construcción de un autómatas celulares diseñado específicamente para modelar el tráfico vehicular. Este modelo constituye un material metodológico de gran valor, pues no se limita a la adopción de esquemas previamente establecidos, sino que responde a un proceso de elaboración original que integra fundamentos de la física, la teoría de sistemas complejos y el análisis computacional.

El modelo CA se desarrolló con las siguientes características:

Incluye un marcador de contaminación por medida cubica en el espacio, este marcador aumenta cuando el flujo del tráfico es menor o cuando el carril no puede avanzar.

Además, tiene tres botones. El primero denominado “Dos Vías” el cual al ser seleccionado abre una segunda calzada, en la que se unifica el flujo del tráfico en ambas calzadas. El segundo botón establece una velocidad límite al sistema de modo que esta no se puede aumentar más del límite. El tercero y último es “Restaurar” el cual devuelve al sistema a sus condiciones iniciales, por ejemplo, después de alguna colisión.

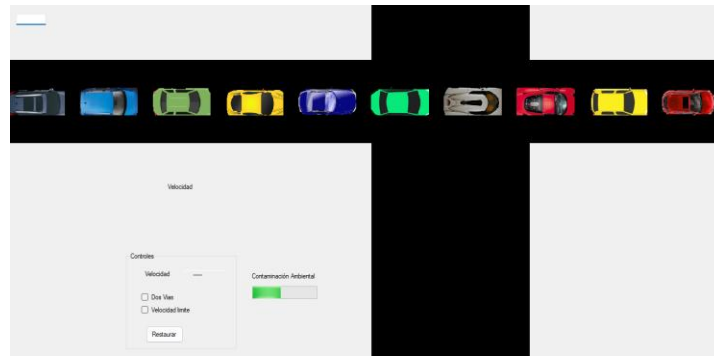


Figura 2 Ilustración del Autómata Celular. Imagen propia.

2.8.2 Cavitación Hidrodinámica

La cavitación hidrodinámica es un fenómeno físico que ocurre cuando, en un flujo de líquido, la presión local cae por debajo de la presión de vapor del líquido a esa temperatura, lo que provoca la formación de cavidades o burbujas de vapor. Estas burbujas viajan hacia regiones de mayor presión, donde colapsan (implosionan), liberando energía en forma de ondas de choque.

La cavitación se fundamenta en las altas y locales emisiones de energía que se da gracias al colapso de las burbujas de vapor que son capaces de destruir las membranas de microorganismos que se encuentran dentro del campo de acción de este efecto (Carpenter et al. 2017).

Este fenómeno se produce cuando sin cambiar la temperatura, el fluido se desplaza donde la presión local se reduce a un valor menor que la tensión de sus vapores lo que desencadena la ebullición local del fluido.

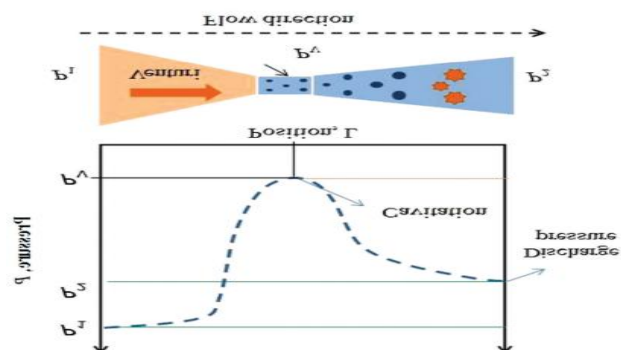


Figura 3 Variación de presión y condiciones de flujo en un dispositivo de cavitación. (venturi). Tomado de Carpenter, J., Badve, M., Rajoriya, S., George, S., Saharan, V. K., & Pandit, A. B. (2017).

Practica experimental Cavitación

Materiales:

- Botellas de vidrio.
- Agua a temperatura ambiente.
- Implementos de protección (guantes resistentes a cortadas , gafas de protección y bata de laboratorio).
- Recipiente para los residuos.
- Maso de goma.

El primer paso es llenar de agua una botella de vidrio hasta el tope , luego con la mano golpear la boca de botella. La pregunta que se le hace a los estudiantes antes de brindar el golpe es ¿Qué sucedería si se golpea la boca de la botella? Como se muestra en la Figura 3 Se observa que el recipiente, al propiciarle este golpe, se fragmenta generando que el cristal se rompa en un punto (casi siempre en su base).



Figura 4 Botella llena de agua y golpeada con un martillo goma. Tomada de (Jorge Ordóñez - Diagnostico Automotriz, 2023).

En torno a este fenómeno, además del uso de la práctica experimental, se utilizó el simulador en línea del PhET como herramienta de apoyo en la observación y análisis del comportamiento desde diferentes perspectivas.

3 Implementación

La implementación de la estrategia de enseñanza-aprendizaje se logró llevar al aula en cuatro sesiones, tal como se planteó en el capítulo anterior, junto con esta se necesitó de adecuaciones específicas para cada sesión que se explican a continuación.

El grupo de participantes fueron los estudiantes del curso de Programación de Computadores II, constituido por 12 participantes, 75% hombre y 25% mujeres, cuyas edades rondaban entre los 18 a 28 años.

Para su participación los estudiantes diligenciaron el formato de consentimiento informado (Anexo E) y durante todo el proceso mostraron gran interés.

Durante la implementación de la secuencia de enseñanza-aprendizaje surgieron diversas circunstancias imprevistas que pueden entenderse como manifestaciones de emergencia propias de los sistemas complejos. Entre ellas se destacan la suspensión de clases por paros y los cortes de agua en la institución, que obligaron a reprogramar encuentros, ajustar algunas actividades. A esto se sumaron otros sucesos académicos que alteraron el desarrollo inicialmente planificado. Desde la perspectiva de los sistemas complejos, estas situaciones no se asumen solo como obstáculos, sino como fenómenos emergentes del sistema educativo que demandan adaptabilidad y flexibilidad, tanto por parte de la docente como de los estudiantes, favoreciendo una mirada holística sobre el contexto real en el que la secuencia se llevó a cabo.

Sesión 1

La sesión inicial se llevó a cabo sin ninguna dificultad y de acuerdo con lo previsto. Se realizó en el laboratorio 215 del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Inicialmente se explicó a los estudiantes el alcance del proyecto, lo cual fue bien recibido por parte del grupo mediante la siguiente presentación:

(<https://view.genially.com/6626980f2b4ff0001420df24/presentation-presentacion-vaporwave>).

Los estudiantes manifestaron entender la propuesta

Posteriormente el docente en formación realizó la práctica de Cavitación, lo cual logró captar la atención de los estudiantes con gran expectativa. La práctica se desarrolló según lo planeado, de manera que los estudiantes contaron con el referente para la réplica.

Luego procedieron a replicar la práctica, mediante equipos de trabajo que ya habían conformado, para ello contaron con protección: guantes y jafas. Dentro de los escenarios previstos se dio el primero, la totalidad de los grupos replicaron exitosamente la práctica de Cavitación. La siguiente imagen muestra a un estudiante realizando el procedimiento.



Imagen 1 Fotografía tomada de un Voluntario replicando la práctica experimental “Cavitación Hidrodinámica” en la sesión inicial.

Después de poder replicar la práctica experimental los estudiantes respondieron las siguientes preguntas, utilizando un formulario diseñado para tal fin (anexo A).

- Nombre de los integrantes del grupo
- ¿El grupo de trabajo logro replicar la práctica experimental?
- ¿Qué variables cree que se ven involucradas en el fenómeno?
- ¿Cree que la geometría del recipiente afecta de alguna manera el fenómeno?
- ¿Cree que el fenómeno se pudiera replicar si se cambia el líquido por otro? Explique su respuesta.
- ¿Cree que el fenómeno se puede replicar si se cambia el líquido por gaseosa o cerveza? Explique su respuesta.
- ¿Se podría formular una hipótesis desde las ciencias naturales sobre el fenómeno recién visto? y si es así ¿Cuál es la hipótesis que se plantea el grupo?

Sesión 2

Las sesiones intermedias (dos, tres y cuatro) se realizaron en la sala de sistemas, para contar con acceso a internet y equipos de cómputo, ya que la mayoría de los ejercicios como se planearon son a través de plataformas en línea, junto con herramienta de apoyo audio visual, como son las presentaciones en “Genially” en estas sesiones.

La sesión dos, inicio con el análisis y explicación del fenómeno de cavitación, abordado en la sesión anterior, para ello se utilizó el simulador de la universidad de Colorado PhET (Physics Education Technology) que permite interaccionar con las variables en un caudal, en las cuales se puede medir: presión, velocidad del fluido y la fricción del fluido.

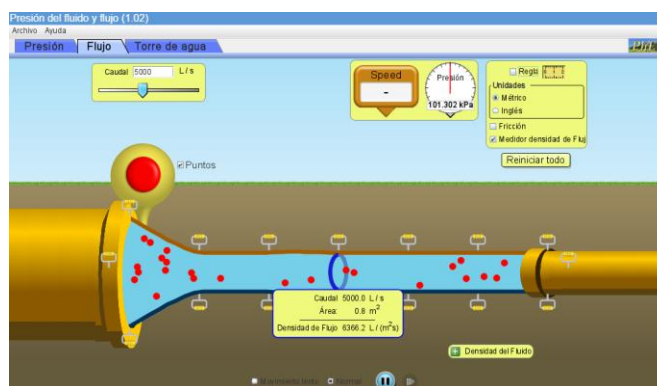


Figura 5 imagen del escenario PhET que se utilizó en la cavitación hidrodinámica, tomado de (<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow&locale=es>).

Los estudiantes plantearon sus preguntas. El propósito de esta interacción es poder ver de manera directa como es la interacción del fluido desde un nivel micro (interacción entre las partículas) hasta un nivel macro (donde se produce la colisión de las burbujas).

Luego se abordó el principio de emergencia a través de una presentación en Genially (<https://view.genially.com/65e74c4f83a8e700144ae190/interactive-content-cavitacion-hidrodinamica>). Esta prestación incluye diagramas energéticos del fluido, así como graficas de presión vs temperatura donde se evidencia la relación entre la temperatura de ebullición del agua y la presión del sistema. Además, se muestran ejemplos de fenómenos que presentan el principio de emergencia.

Para finalizar la sesión a los estudiantes se les formuló preguntas de acuerdo con el siguiente texto:

“En un ecosistema de Gran Bretaña, una riqueza de vida animal prospera, desde los bosques frondosos hasta los campos abiertos y los humedales serenos. Entre esta diversidad de hábitats, numerosas especies de animales coexisten en un delicado equilibrio ¿Cree que se puede ver afectado de manera directa la población de mariposas si se extinguieron los conejos problema tomado de (Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, 2016).

Sesión 3

La sesión inicia con la recapitulación de la sesión anterior, desde el enfoque del principio de emergencia. Para la sesión tres los estudiantes conformaron grupos y seleccionaron una de las siguientes preguntas para generar una discusión.

- ¿Cómo cree que Twitter puede corroborar la tasa de desempleo en una ciudad?
- ¿Cómo cree que Waze calcula la ruta óptima para un viaje recién planeado?
- ¿Cómo cree que se puede ver afectado la seguridad pública a través de Facebook?

Los estudiantes demostraron gran participación durante esta serie de preguntas. En sus exposiciones utilizaron diversos elementos de análisis, lo que permitió proponer soluciones más integrales a los problemas planteados.

Al cierre de la sesión se les presenta a los estudiantes, mediante diapositivas, algunas de las problemáticas que se tratan de resolver hoy en día en universidades e institutos privados, entre los que se encuentran la Universidad de Valencia, la Universidad de Indiana y El Instituto de Santa fe, instituto de sistemas complejos de simulación. Se destacan estudios sobre: dinámica de flujos urbanos, modelización del cambio climático, predecir comportamientos globales, la propagación de información y epidemias, utilizando redes y teoría del caos.

Sesión 4

La sesión inicia con la recapitulación sobre los principios de Emergencia y enfoque sistémico respondiendo las inquietudes de los estudiantes a través de una presentación interactiva

<https://view.genially.com/661ccbc23d1a9a001425751b/presentation-presentacion-trafico-vehicular>)

En un segundo momento se presenta el simulador de tráfico vehicular, mostrando las opciones que tiene el software, botonees, marcadores y demás

Para que los estudiantes pudieran interactuar con el simulador, la actividad se organizó en la sala de sistemas donde cada equipo tenía instalado en su escritorio el programa, una vez que se abre el simulado se busca que los estudiantes observen primero como esta creado el programa y observar cómo al modificar las variables los marcadores cambian. De manera intencional, se incluyen accidentes esporádicos con la finalidad de comprender su comportamiento dinámico.

Como parte del ejercicio de interacción con el simulador, los estudiantes resolvieron algunas preguntas, cuyas respuestas se encuentran en el anexo C.

Los estudiantes en grupos de trabajo seleccionan un punto geográfico de la ciudad y determinan las dificultades de tráfico en una ruta trazada hasta la Universidad.

Los integrantes de cada grupo debaten cuáles son las problemáticas que se presentan a la hora de seleccionar una ruta/alternativa de transporte cuando se dirigen hacia la universidad. Los grupos plantean estrategia y/o alternativa para poder mejorar los tiempos de traslado desde sus casas hasta la universidad teniendo en cuenta los aspectos vistos en el simulador. Los casos y diferentes alternativas de solución que brindan los estudiantes y que fueron evaluados se encuentran en el anexo C.

Los diferentes grupos socializan los aspectos discutidos a su interior y se genera un dialogo entre grupos, que contribuye al análisis de la situación planteada.

Por último, se da cierre a la estrategia de enseñanza-aprendizaje mediante la evaluación, para ello se solicita a los estudiantes que diligencien un formulario donde expresan su impresión en relación con la estrategia enseñanza – aprendizaje y sugerencias respecto a sus prácticas. Las evaluaciones se encuentran en el Anexo D.

4. Resultados y análisis

4.1 Rubrica

De acuerdo con Sanz (2014) Una rubrica evaluativa es un instrumento que organiza, en una matriz, criterios claros y estándares de calidad, acompañada de distintos niveles de desempeño, que permiten valorar a los estudiantes, trabajos o productos. Esta herramienta hace posible divisar los objetivos del aprendizaje y genera una retroalimentación precisa, generando una evaluación y ayuda tanto al docente como al estudiante a identificar fortalezas y áreas de mejora.

Los resultados obtenidos se evaluaron a través de la siguiente rubrica que se construyó, teniendo en cuenta, la población objetivo para la estrategia de enseñanza-aprendizaje.

Tabla 6 Rubrica evaluativa de la estrategia de enseñanza-aprendizaje.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y de adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

4.2 Resultados implementación estrategia enseñanza-aprendizaje

Para realizar el análisis del progreso de los estudiantes, se realizaron los siguientes pasos: 1) se reúnen los análisis específicos proporcionados por los estudiantes con relación a la resolución de los problemas planteados (Anexos A y C), estos se encuentran en la evaluación diagnóstica correspondiente a la primera sesión y la información recopilada en la sesión final. 2) Los análisis particulares se evalúan a partir de la rúbrica ya presentada (tabla 6). 3) Se generan tablas y gráficos que contribuyan a entender los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos mediante la rúbrica propuesta, que comparan la sesión inicial y la sesión final, permiten apreciar el tránsito de los estudiantes desde sus elementos de análisis lineal a elementos relacionados con el pensamiento complejo consultar Anexo D.

Los siguientes diagramas muestran el análisis comparativo desde la elaboración explicativa de los estudiantes en la sesión inicial frente a la sesión final, en cuanto a los criterios: “*descripción de la problemática*”, “*análisis del fenómeno*” y “*explicación de la solución dada al fenómeno*”.

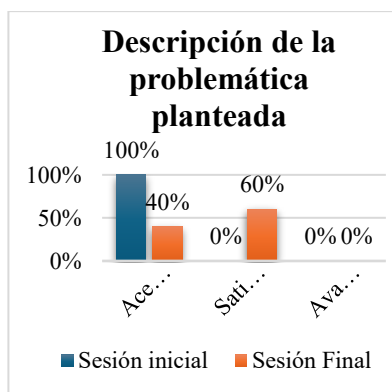


Figura 6 Diagrama de barras criterio descripción de la problemática planteada inicial VS sesión Final.

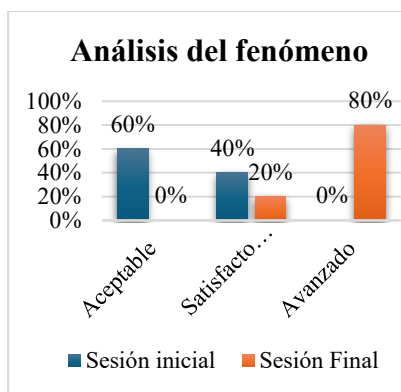


Figura 7 Diagrama de barras criterio análisis del fenómeno, sesión inicial VS sesión Final.

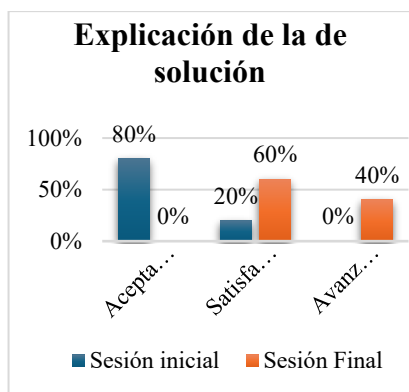


Figura 8 Diagrama de barras criterio explicación de la solución, sesión inicial VS sesión Final.

El análisis conjunto de las Figuras 6, 7 y 8 muestra una evolución progresiva en cada uno de los criterios evaluados. En la Figura 6 se evidencia que, en la sesión inicial, todos los participantes describen los fenómenos desde una perspectiva de causalidad lineal, pues formularon sus hipótesis a partir de una observación general, sin considerar variables no visibles de manera

directa. Sin embargo, en la sesión final, el 60% empieza a mostrar indicios de comprensión no lineal, ampliando su capacidad para identificar relaciones más complejas dentro de los sistemas estudiados, así como variables que emergen desde perspectivas particulares alejadas de un pensamiento lineal

De manera coherente con este avance, la Figura 7 evidencia un cambio en los criterios empleados para el análisis de los fenómenos. En la sesión inicial, los estudiantes recurrían a la idealización del sistema, dejando por fuera variables o influencias del entorno. Para la sesión final, el 80% incorpora variables adicionales asociadas a los principios de emergencia (el cambio climático, condiciones del entorno, etc.) y adaptación, abordando el fenómeno de una manera más holística y sistémica, sin generar aislaciones propias de un análisis simplificado.

Finalmente, la Figura 8 muestra cómo esta transformación conceptual se refleja en la formulación de soluciones. En la sesión inicial, un 80% de los estudiantes proponía respuestas basadas únicamente en causalidad lineal, asumiendo que las soluciones actuaban de manera directa e inmediata, sin considerar su impacto futuro en el sistema. En la sesión final, un 60% comienza a emplear principios de adaptación o causalidad no lineal, aunque de forma incipiente. Además, un 40% logra aplicarlos de manera efectiva, demostrando una mayor capacidad para anticipar escenarios a mediano y largo plazo, así como para reconocer que cada solución puede generar nuevas problemáticas emergentes dentro del sistema.

La siguiente grafica muestra los resultados globales

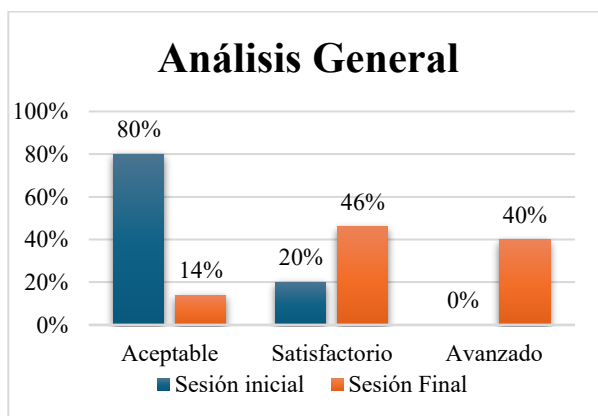


Figura 9 Diagrama de barras general sesión inicial VS sesión Final.

4.3 Análisis

4.3.1 Análisis Global

Los resultados obtenidos para el criterio “*descripción de la problemática*” reflejan que la población en un 100% se enmarca en un *nivel aceptable* para la sesión inicial.

Posteriormente, el 60% de la población logró un tránsito al *nivel satisfactorio* para la sesión final. Lo cual evidencia que los estudiantes pasaron de un nivel de análisis lineal a uno de análisis complejo, lo que significa que: Identifican y describen a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.

En la Figura 6 se observa que la población bajo el criterio “*análisis de fenómeno*” se encuentra encasillada (al momento de aplicar el pretest) entre los niveles *aceptable*, con un 60%, y *satisfactorio*, en un 40%. En un segundo momento (post test) la población en un 80% alcanza el *nivel avanzado*. Significa que los estudiantes alcanzan un nivel que les permite analizar el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y de adaptación.

En el criterio “*Explicación de la solución*” los estudiantes en su mayoría, 80%, se ubicaron en el *nivel aceptable* al inicio del proceso, posteriormente se ubicaron entre *Satisfactorio* (60%) y *Avanzado* (40%). Esto indica que Utilizan de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal, mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.

El *Análisis General* (figura 8), a través de la rúbrica, señalan una transición de los estudiantes desde su estructura lineal a una estructura compleja. Inicialmente el 80% de los estudiantes abordaron la situación presentada a través de un análisis lineal. El análisis final muestra al 86% de los estudiantes se ubican en los niveles “*Satisfactorio*” y “*Avanzado*”, en donde hay una elaboración desde el pensamiento complejo. A continuación, se presenta el análisis de cada uno de los criterios de la rúbrica.

4.3.2 Sesión inicial

La sesión inicial se desarrolló según lo previsto, los estudiantes replicaron la experiencia relacionada con el fenómeno de Cavitación y plantearon sus hipótesis. Anexo A.

De acuerdo con las respuestas obtenidas por parte de los estudiantes en la sesión de apertura, se evidencia que se encasillan en aspectos como: condiciones ideales, sistemas cerrados y causalidad lineal. Esta afirmación se da a partir del ejercicio realizado sobre dichas respuestas, en las que se ubicaron las palabras con mayor frecuencia, mediante la ayuda de la inteligencia artificial ChatGPT (OpenAI, 2025).

En el anexo A se encuentra la Tabla 6 que muestra el porcentaje de cada palabra común en relación con el total de palabras en cada grupo. Por lo tanto, no solo permite evaluar el nivel de comprensión de los estudiantes sobre estos temas, sino que también se pueden considerar los aspectos a mejorar para las próximas sesiones. Las palabras en común entre los grupos fueron: Líquido, Agua, Presión, Golpe y Botella

Tenido en cuenta lo anterior, se evidencia que los estudiantes en ninguna de las hipótesis formuladas toman en cuenta variables fuera del campo ideal tales como propiedades del fluido, temperatura del ambiente, propiedades del aire o características del recipiente, con lo cual se puede ver enmarcado características del pensamiento predominante mente lineal, bajo el determinismo Newtoniano ya que se concentran en principios tales como: causalidad lineal y aditividad.

4.3.3 Sesión 2 y 3

Los resultados de las sesiones dos y tres, aportaron aspectos relevantes para el análisis, como propósito principal es promover la investigación de los participantes, por ello se realizó explicación sobre los principios de adaptación, emergencia y casualidad no lineal además del abordaje de fenómenos complejos. Al finalizar las sesiones los estudiantes se mostraban motivados.

A lo largo de estas sesiones, se generaron debates interesantes, los cuales se registraron a través del aplicativo web Nearpod, utilizando la herramienta interactiva "Collaborate Board". En este espacio, los estudiantes expresaron sus opiniones frente a las preguntas planteadas (imagen2).

La investigación contó con el consentimiento informado de los participantes anexo F, quienes autorizaron el uso de sus datos para fines académicos, con el fin de garantizar un mayor nivel de

confidencialidad, se ha procedido a suprimir los apellidos de los nombres en todos los registros y resultados presentados como se muestra en la imagen 2

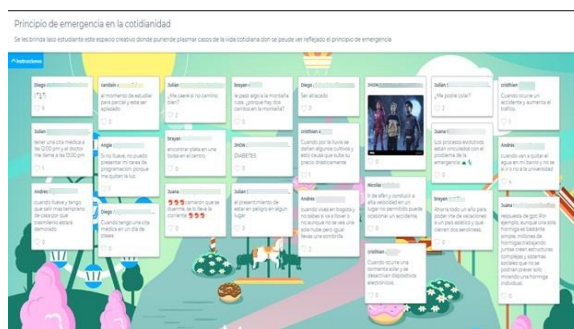


Imagen 2 Captura de pantalla Nearpod donde el grupo de participantes plasman sus respuestas sobre fenómenos de emergencia en la cotidianidad.

El “Colaborante Board” deja ver que los estudiantes empiezan a identificar características asociadas a los sistemas dinámicos no lineales, al abordar escenarios cotidianos o de su diario vivir.

4.3.4 Sesión final

La sesión de cierre permite obtener las conclusiones gracias a la amplia gama de ejercicios que se pueden llevar al aula. Esta sesión contó con dos momentos cruciales:

El primero fue el uso del modelo AC como se explicó en el capítulo de la implementación con los estudiantes, El grupo después de interactuar con el modelo computacional respondieron a un formulario abierto (anexo B) en cual brindo respuesta que reflejaban una mayor divergencia. La pregunta en cuestión es ”¿Qué otras variables no explicitas del modelo se podrían asociar al fenómeno?”.

Las respuestas obtenidas mostraron un margen más amplio de variables fuera del campo ideal y una mayor singularidad puesto que cada grupo propuso repuestas diferentes.

- Contaminación ambiental
- Formas de la vía
- Tamaño del vehículo
- Densidad de vehículos
- Flujo vehicula
- Velocidad variable de cada vehículo
- Distancia que recorren los vehículos

- Diferentes probabilidades de choques en la vía
- Contaminación Fenómenos ambientales y estructurales.

Para el segundo momento, los estudiantes conforman grupos en los cuales debaten sobre las problemáticas que se presentan al seleccionar una ruta de transporte desde un lugar particular hasta la universidad.

Los grupos exponen la estrategia planteada y/o alternativa para poder mejorar los tiempos de traslado desde sus casas hasta la universidad teniendo en cuenta los aspectos vistos en el simulador. Entre las estrategias que se pueden plantear algunas son; dinámicas viales, las dinámicas que deberían tener los semáforos, restricciones.

Las respuestas obtenidas se encontrarán en el anexo B junto con su evaluación con la rúbrica evaluativa (Tabla 6).

Este ejercicio brindo herramientas que deja divisar de manera óptima el desplazamiento de un pensamiento predominantemente lineal a uno con características del pensamiento complejo como mostraron las figuras 5, 6, 7 y 8.

En momento final se les brindo a los estudiantes una evaluación sobre su experiencia a través de la estrategia de enseñanza aprendizaje. Las respuestas se presentan en el Anexo E, evidencia que la estrategia brindo una visión complementaria sobre la física y su análisis de fenómenos. Asimismo, que el uso de diferentes recursos didácticos y herramientas implementadas fomento su interés y participación.

5. Conclusiones

La dinámica implementada en la estrategia de enseñanza-aprendizaje logró un cambio en los estudiantes participantes, desde una forma de análisis lineal hacia un enfoque más complejo. En las sesiones iniciales el grupo mostró análisis elementales y caracterizados por un razonamiento lineal, en los términos que señala Fernández (2016), debido a que se apoyaron en principios de aditividad, replicación y linealidad proporcional entre causa y efecto. A medida que se llevaba a cabo las sesiones y se adquirieron nuevos conceptos como: adaptación, emergencia y casualidad no lineal, se evidencio un avance en la mayoría de los estudiantes para abordar problemas desde un punto menos sistematizado linealmente y más complejo.

Los resultados obtenidos señalan que inicialmente el 80% de los estudiantes abordaron la situación propuesta desde un enfoque netamente lineal y en la sesión final el 86% realizan análisis desde una perspectiva de complejidad. Esto evidencia que la estrategia diseñada responde a los objetivos propuestos y se identifica en lo señalado por Juárez y Salinas (2012) en cuanto a romper con el pensamiento simplificador.

Por otra parte, el apoyo con herramientas tecnológicas fue importante, tal es el caso del modelo autómatas celular, el cual se programó para este proyecto y que permite simular el flujo vehicular. Los estudiantes interactuaron de forma práctica con un sistema complejo a través del cual abordaron variables como: la velocidad de un automóvil, diferentes caminos hay para conducir, las señales de tránsito, semáforos y factores externos que afectan la movilidad de los automóviles y generan problemáticas ambientales como la contaminación por material particulado entre otros. El uso del modelo AC fomentó aún más la asimilación de soluciones y la causalidad no secuencial en circunstancias genuinas como lo resalta Foliaco & Foliaco (2018).

El análisis del fenómeno de cavitación facilita el desarrollo de la estrategia de enseñanza-aprendizaje ya que sus características principales junto con su práctica experimental chocan con el sentido común, generando un conflicto cognitivo que estimula a la población, de acuerdo con Castiblanco (2021). La sesión inicial involucró este fenómeno y permitió ubicar el estado inicial de los estudiantes respecto a sus análisis.

Las herramientas tecnológicas como Teams, Nearpod, Genially y el simulador de tráfico, fueron esenciales para promover un aprendizaje interactivo y colaborativo, estos instrumentos permitieron a los alumnos percibir y modelar situaciones complejas, acceder a materiales complementarios con mayor eficacia y trabajar simultáneamente en entornos digitales que facilitaron la investigación y el análisis. El implementar una estrategia de enseñanza-aprendizaje, con el apoyo de diferentes elementos y herramientas didácticas, evidencian una ayuda significativa en el proceso. El trabajo realizado incluyó un enfoque experimental, junto con ambientes simulados (**Phet** de la universidad de Colorado y el modelo AC) .

Si bien el uso de las TIC constituyó un pilar fundamental en el desarrollo de este proyecto, se recomienda a futuros investigadores considerar que su implementación no siempre garantiza

resultados positivos. Su efectividad depende, en gran medida, de la preparación previa y del propósito pedagógico con el que se integren, ya que, en algunos casos, pueden convertirse en elementos distractores si no se orientan de manera adecuada.

El utilizar una rúbrica evaluativa para ubicar a los estudiantes en los diferentes niveles mediante el proceso de la estrategia de enseñanza-aprendizaje se puede convertir en una herramienta de análisis eficiente tanto en los aspectos cualitativos y cuantitativo. Para efectos de esta rúbrica, fue muy importante el desarrollo en el marco teórico en relación con los aspectos característicos del pensamiento lineal y del pensamiento complejo.

La revisión de los resultados mediante la rúbrica evaluativa indicó una transformación en los análisis realizados por los estudiantes. En términos generales, muchos participantes pasaron de un nivel "Aceptable" a "Satisfactorio" y "Avanzado", particularmente en la *comprensión de fenómenos* y la *explicación de las respuestas*. Esto refleja una percepción más profunda y compleja de los fenómenos estudiados, lo que indica que la estrategia de enseñanza-aprendizaje cumplió el objetivo de fomentar el pensamiento crítico y complejo. El análisis también mostró que la adopción de metodologías dinámicas, interactivas y modelamiento aportó un papel importante en la transformación de los enfoques cognitivas de los estudiantes.

Los sistemas complejos y su relación con los fenómenos de la vida cotidiana son de gran apoyo al estudiar o abordar un fenómeno físico, ya que permite entrelazar su experiencia con la física como lo menciona García & Catalán (2023).

Se destaca el hecho que los sistemas complejos tiene un factor interdisciplinar que puede generar un análisis desde las diferentes disciplinas respecto a fenómenos que involucran problemáticas del día a día, por ende, se pueden generar rutas metodológicas con la finalidad de analizar, abordar y comprender fenómenos de los sistemas complejos para profundizar y generar diálogos desde diferentes áreas del conocimiento, esto en concordancia con lo señalado por Colader et al. (2004).

Se observa que la estrategia de enseñanza-aprendizaje demostró ser una herramienta eficaz y aplicable para aportar al aprendizaje de los participantes. La mayoría de los estudiantes

evaluaron positivamente la claridad y relevancia del contenido, destacando su potencial para abordar la resolución de problemas de la vida cotidiana y de la física. También vale la pena señalar que la encuesta a estudiantes sobre la estrategia de enseñanza aprendizaje demostró que los participantes apreciaron la incorporación de actividades prácticas y la conexión entre teoría y la interacción, reconociendo que las actividades propuestas enriquecen su formación académica e investigativa.

Si bien las metodologías activas se han consolidado como una de las estrategias pedagógicas de mayor influencia en la actualidad, representan también un gran desafío para los docentes, en lo referente a mantener el interés de los estudiantes. Por ello, se recomienda que futuras investigaciones consideren no solo el contexto social y cultural en el que se desarrolla la población, sino también las formas en que los estudiantes aprenden construyen y aplican el conocimiento. A través de este enfoque integral, será posible identificar nuevas oportunidades para despertar y sostener su interés hacia el aprendizaje.

La planeación realizada, desde la metodología, permitió: ubicar al estudiante como centro del proceso; fomentar el trabajo en grupo; integrar diferentes tecnologías; promover actividades prácticas; generar espacios de discusión y abordar un análisis complejo de la realidad. Esto en los términos señalados por Suniaga (2019), en referencia a las metodologías activas.

Por último, es importante señalar que el propósito de la investigación no se enfocaba en desistir del análisis lineal en el modelo utilizado por los estudiantes para abordar diferentes fenómenos y que por tanto todas las respuestas finales se establecieran estrictamente dentro del análisis complejo. Esto de acuerdo con lo señalado por Jörg (2011), en donde la complejidad debe asumirse como complementaria a la linealidad.

Referencias

- Abramowsk, A. L., & Sorondo, J. (2023). La crítica a la escuela tradicional desde la perspectiva de la educación emocional. Una oportunidad para problematizar el discurso crítico en el campo educativo. *Perfiles educativos*, 45, 161-178.
- Barbosa, L. H., & Mora-Ley, C. (2010). Los Experimentos Discrepantes como una Herramienta Pedagógica en el. *Revista colombiana de física*, 42(1), 5.
- Biggs, J. B. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: : Narcea.
- Bono, E. d. (1970). *El pensamiento Manual de creatividad*. Argentina: Paidòs SAICF.
- Born, M. (1955). Is Classical Mechanics in Fact Deterministic? *Phys, Blätter*, 78-83.
- Camacho, J. M. (2000). *Pensamiento dicotómico*. Obtenido de <https://www.fundacionforo.com/pdfs/archivo34.pdf>.
- Campelo, J. R. (2003). *Un modelo didáctico para enseñanza aprendizaje de la física*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Rio de jainero.
- Campos Gómez, A. A. (2021). Análisis documental del concepto estrategias de aprendizaje aplicado en el contexto universitario. *Psicumex*.
- Carpenter, J., Badve, M., Rajoriya, S. G., Saharan, V. K., & Pandit, A. (2017). Hydrodynamic cavitation: an emerging technology for the intensification of various chemical and physical processes in a chemical process industry. *Reviews in Chemical Engineering*, 433-468.
- Castiblanco, O. L. (2021). *TIPOLOGÍAS DE EXPERIMENTACIÓN PARA LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA*. Bogota: Edições Hipótese.
- Castillo, D. P. (2006). El interaprendizaje como clave de la educomunicación. *Mediaciones*, 23-35.
- Chaparro, G., & Ávila, R. (2005). *La presencia del caos en un mundo determinista*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Chaves, J. M. (2010). Consideraciones básicas del pensamiento complejo de Edgar Morin, en la educación. *Revista Electrónica Educare*, 67-75.
- Clavijo, A. C. (2010). La enseñanza para la comprensión:. *Revista "Entre Comillas"*, 25-29.
- Colader, D., Hol, T. R., & Rosser, J. B. (2004). The changing face of mainstream economics. *Review of Political Economy*, 485-499.
- De Jesús, M. I., Raiza, A., Martínez, D. R., & Méndez, R. (2007). Re-pensando la Educación desde la Complejidad. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 1-13.
- Di Caudo, M. V. (2013). La ciencia pedagógica: construcciones, disputas, desafíos . *Sophia*, 34-50.

- Escobar, R. A., & Escobar, M. B. (2016). La relación entre el pensamiento complejo, la educación y la pedagogía. *Dialnet*, 88-99.
- Estenssoro, F. S. (2010). CRISIS AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA GLOBAL: UN TEMA CRECIENTEMENTE COMPLEJO PARA AMÉRICA LATINA. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, 55-77.
- Farley, A. S. (2012). Nagel-Schreckenberg-Based Signalised Intersection. *A Thesis submitted to the School of Graduate Studies in partial fulfillment of the*. University of Toronto Institute for Aerospace Engineering, Toronto.
- Fernández, C. R., s Palenzuela Bautista, J., & Martínez Menéndez, A. (2024). *Metodologías activas y TIC en el ámbito universitario: hacia un aprendizaje colaborativo e innovador*.
- Fernández, M. A. (2016). Dinámica No. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat.*, 108-126.
- Fernández, N., Carlos, M., & Gershenson, C. (2014). Information Measures of Complexity, Emergence, Self-organization, Homeostasis, and Autopoiesis. *Inception. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*, 19-51.
- Fleite, S. N., Ayude, M. A., Ranade, V. V., & Cassanello, M. C. (2024). Hydrodynamic cavitation effects on advanced oxidation processes and mass transfer: A conceptual model. *hemical Engineering Journal Advances*.
- Foliaco, J. G., & Foliaco, M. E. (2018). Construcción de un marco teórico para las ciencias de la gestión. *Dialnet*, 86-96.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Galván, A. P., & Siado, E. R. (2021). Educación Tradicional: Un modelo de enseñanza centrado en el estudiant. *Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 962-975.
- Gao, Z., Jia, B., Xie, D., Wang, W., & Wu, J. (2025). A Discussion on the Complexity and Transit Mechanisms of Urban Traffic. *Engineering*, 24-29.
- García, A. L., & Catalán, D. E. (2023). Complejidad y sistemas complejos. *Revista Vida, una mirada compleja*.
- García, J. M. (2021). *Ciencias de la complejidad: Teoría General de Sistemas, Pensamiento Sistémico y sus aplicaciones práctica*. España.
- García, L. M., Llaguno, B. G., Loor, A. R., & Solano, I. d. (2023). Recursos didácticos en el aprendizaje significativo del. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*,(7), 381-388.
- Gell-Mann, M. (1995). *El quark y el jaguar*. Tusquets.

- Gómez, C., Aleida, d. C., Hernández, M. A., & Aniceto, P. F. (2021). Análisis documental del concepto estrategias de aprendizaje aplicado en el contexto universitario. *Psicumex*.
- González, j. m. (2018). El proceso educativo desde el pensamiento complejo. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, 53.
- Granda, L. Y., Espinoza, E. E., & Mayon, S. E. (2018). LAS TIC COMO HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE. *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 104-111.
- Grondin, J. (2006). *Introducción a la metafísica*. Barcelona,: Herder.
- Guttinger, S. (2020). The limits of replicability. *European Journal for Philosophy of Science*, 1-10.
- Hawking, S. (2004). *A hombros de gigantes Las grandes obras de la Física y la Astronomía*. Barcelona: Crítica.
- Hedlund, G. A. (1969). Endomorphisms and automorphisms of the shift dynamical system. *Mathematical systems theory*, 320-375.
- Hernández, R. S., & Mendoza, C. P. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. Mexico: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Heylighen, F., Cilliers, P., & Gershenson, C. (2006). Complexity and Philosophy. *ResearchGate*, 117-134.
- Holland, J. h. (2012). *Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems*. London: Mit Press.
- Instituto de Ciencias Físicas, UNAM. (2016). ¿Ques son los sisitemas complejos? Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=xCoJOWyWFrU&t=2765s>
- Ivarola, L., García, A., & Szybisz, M. (2017). El paradigma de la complejidad en economía: más allá de las leyes y de la causalidad lineal. *SciELO*, 80-94.
- John, H. (2004). El orden oculto. De cómo la adaptación crea la Complejidad. *Fondo de Cultura Económica*.
- Jörg, T. (2011). *Nuevo pensamiento en complejidad para las ciencias sociales y las humanidades: un enfoque generativo y transdisciplinario*. Springer Science & Business Media.
- Jorge Ordonez - Diagnostico Automotriz. (9 de Diciembre de 2023). Cavitación en una botella de Cerveza! [video]. Facebook. Obtenido de <https://fb.watch/rXOILqIHAo/>
- Juárez, j. m., & Salinas, s. c. (2012). Epistemología del pensamiento complejo. *REencuentro. Análisis de Problemas Universitarios*, 38-51.

- Kang, C., & Liu, Z. (2024). The impact of complexity in the built environment on vehicular routing behavior: Insights from an empirical study of taxi mobility in Beijing, China. *arXiv preprint arXiv:2404*.
- Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). ¿Qué es un sistema complejo?". *Revista Europea de Filosofía de la Ciencia*, 33-67.
- Lora, Ó. J. (2019). LOS LÍMITES DEL REDUCCIONISMO CARTESIANO. *Scripta Philosophiæ Naturalis*, 61-76.
- Luengo, G. E. (2018). Las vertientes de la complejidad: pensamiento sistémico, ciencias de la complejidad, pensamiento complejo, paradigma ecológico y enfoques holistas. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, 60-80.
- Madrid, G. A., Álvarez, M. A., & Lozano, R. J. (2022). *Estrategias activas para el aprendizaje autónomo: Un enfoque en alumnos de secundaria*. Obtenido de Open Textbooks. University of Minnesota.: <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/1548>
- Miłkowski, M., Hensel, W. M., & Hoho, M. (2018). ¿Replicabilidad o reproducibilidad Sobre la crisis de la replicación en neurociencia computacional y compartiendo solo detalles rele. *Revista de neurociencia computacional*, 18-22.
- MINTIC. (2009). *1341*. funcionpublica.
- Mitchell, M. (2009). Complexity, a guided tour. *Nueva York: Oxford University Press*.
- Moreschi, O. (2001). El principio de causalidad: la única ley permanente. *EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA*, 373-379.
- Morin, E. (2004). *INTRODUCCION AL PENSAMIENTO COMPLEJO*. Barcelona: gedisa.
- Muntaner Guasp, J. J., Pinya Medina, C., & Mut Amengual, B. (2020). *El impacto de las metodologías activas en los resultados académicos*.
- Najmanovich, D. (2019). *Complejidades del saber*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: noeduc.
- OpenAI. (2025). *ChatGPT 5.1*. Obtenido de chat.openai.com
- Pereira, C. J. (2010). Consideraciones básicas del pensamiento complejo de Edgar Morin, en la educación. *Revista Electrónica@ Educare*, 67-75.
- Popescu, A. I. (2020). Trayectorias de innovación urbana a largo plazo y calidad de vida urbana. *Sustainability*.
- Prieto, M., & Contreras, G. (2008). Las concepciones que orientan las prácticas evaluativas de los profesores: un problema a develar. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 245-262.
- Puga, L. A., & Jaramillo, L. M. (2015). Metodología activa en la construcción del conocimiento matemático. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, 291-314.

- Quecedo, R., & Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 5-39.
- Raichman, S., & Mirasso, A. (2018). Modelos pedagógicos para el aprendizaje complejo y la formación en competencias en carreras de Ingeniería. *Ingeniería*, 22-26.
- Ruiz, L. B., & Tineo, A. (2019). Una revisión de modelos de tráfico automotor usando autómatas celulares. *A review of automotive traffic models using cellular automata*. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- Sánchez, L. N. (2015). Implicaciones, uso y resultados de las TIC en educación primaria. Estudio cualitativo de un caso. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 51, 1-11.
- Sanz, M. P. (2014). La evaluación de competencias en Educación Superior mediante rúbricas: un caso práctico. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 87-106.
- Secretaría de Movilidad. (2024). Encuesta de Movilidad 2023 Bogotá.
- Shi, H., Li, M., Liu, Q., & Nikrityuk, P. (2020). Experimental and numerical study of cavitating particulate flows in a Venturi tube. *Chemical Engineering Science*.
- Soler, R. A. (2023). Soler Gil, R. A. (2023). El método científico y el pensamiento complejo para la investigación en la educación superior actual. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 147-160.
- St-Pierre, A., & Kustcher, N. (2001). *PEDAGOGÍA E INTERNET. APROVECHAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS*. México: Editorial Trillas.
- Suniaga, A. (2019). Metodologías Activas: Herramientas para el empoderamiento docente. *Revista internacional docente 2.0 tecnología- educativa*.
- Tobón, S. (2008). *La formación basada en competencias en la educación superior: el enfoque complejo*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA, Mexico.
- Totter, E., Raichman, S., & Mirasso, A. (10 de 06 de 2013). Diseño de un Laboratorio Áulico basado en Dispositivos Dinámicos Experimentales orientado a promover el aprendizaje complejo de contenidos de Matemática Avanzada. *VIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*.
- Trigwell, K., & Prosser, M. (2004). Development and use of the approaches to teaching inventory. *Educational Psychology Review*, 409-424.
- Tu, Y., & Rappel, W. (2018). Adaptation in living systems. *Annual review of condensed matter physics*, 183-2005.
- Veliz, E. G., Pillasagua, A. d., & Yela, C. H. (2016). Los recursos didácticos y el aprendizaje significativo en los estudiantes de bachillerato'. *Revista Científica Sinapsis*, 2(9).

- Yanes, J. R. (2016). Pensamiento complejo abstracto en el aula. *Sophia: Colección de Filosofía de la Educación*, 121-141.
- Zambrano, G. A., Moreira, M. J., Morales, F. F., & Rodrigo, D. (2021). Recursos virtuales como herramientas didácticas aplicadas en la educación en situación. *Polo del conocimiento*, 16.
- Zamora, P. G. (2009). REVISIÓN DE EXPERIENCIA DE REFLEXIÓN EN LA FORMACIÓN INICIAL DE DOCENTES. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, 243-260.

Anexos

Los presentes anexos reúnen y organiza las respuestas obtenidas de los estudiantes participantes en el desarrollo de este trabajo de investigación. Estas respuestas fueron recopiladas a través de las diferentes sesiones de clase con el propósito de proporcionar un análisis detallado y fundamentado sobre el tránsito de un pensamiento lineal a un pensamiento complejo

La información contenida en estos anexos busca complementar los resultados presentados en los capítulos anteriores, ofreciendo una visión más amplia de las percepciones, opiniones y experiencias de los estudiantes frente a la estrategia de enseñanza-aprendizaje.

Anexo A. Practica experimental - cavitación.....	69
Tabla A1: Clasificación sesión inicial grupo uno.....	70
Tabla A2: Clasificación sesión inicial grupo dos.	71
Tabla A3: Clasificación sesión inicial grupo tres.....	72
Tabla A4: Clasificación sesión inicial grupo cuatro.	73
Tabla A5: Clasificación sesión inicial grupo cinco.	75
Tabla A6: Cuadro de palabras comunes entre las hipótesis de los grupos.	76
Anexo B. Actividad modelo AC (Autómata Celular).....	77
Tabla B1: Recopilación respuestas sesión final actividad modelo autómatas celulares	77
Anexo C. Explicación actividad movilidad.....	85
Tabla C1: Clasificación sesión final grupo uno.	86
Tabla C2: Clasificación sesión final grupo dos.....	87
Tabla C3: Clasificación sesión final grupo tres.	88
Tabla C4: Clasificación sesión final grupo cuatro.....	89
Anexo D. resultados obtenidos.....	91
Tabla D1 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia- enseñanza aprendizaje criterio descripción de la problemática planteada.	91
Tabla D2 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia enseñanza- aprendizaje criterio Análisis del fenómeno.	91
Tabla D3 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia enseñanza- aprendizaje criterio Explicación de la de solución.	91

Figura D1 Diagrama de barras criterio descripción de la problemática planteada inicial VS sesión Final.	91
Figura D2 Diagrama de barras criterio análisis del fenómeno, sesión inicial VS sesión Final.	91
Figura D3 Diagrama de barras criterio explicación de la solución, sesión inicial VS sesión Final.	91
Tabla D4 Descripción global en porcentajes de la estrategia enseñanza-aprendizaje a nivel general....	92
Figura D4 Diagrama de barras general sesión inicial VS sesión Final.	92
Anexo E. Evaluación de la secuencia por parte de los estudiantes.....	93
Anexo F. consentimientos proyectos de investigación.	¡Error! Marcador no definido.

Anexo A. Practica experimental - cavitación.

En la sesión de apertura, se llevó a cabo un experimento práctico para observar, analizar y de ser posible replicar la práctica experimental denominada: “ruptura de botellas mediante cavitación hidrodinámica”, bajo la metodología del experimento discrepante como se presenta en la tabla 2.

El autor de este proyecto realiza el experimento, en el cual se provoca la ruptura de una botella de vidrio. El objetivo de la actividad es que los estudiantes observen y analicen el fenómeno resultante, permitiéndoles comprender los principios involucrados en el mismo.

Procedimiento

primero es necesario usar los implementos de seguridad (gafas, batas y guantes protectores) y se busca un envase de vidrio parecido a las botellas de gaseosa.

Segundo se llena de agua el recipiente hasta su tope máximo

Tercero se procede a golpear la boca del envase con la mano o preferiblemente con un mazo de goma

En este momento hay dos opciones, que la botella se haya roto o no. Si es el último caso, es necesario proporcionar otro golpe a la botella.

Para llevar a cabo la práctica experimental, se proporciona a los estudiantes el material necesario, de manera que puedan replicarla de forma autónoma . Una vez finalizada la práctica, se solicita que completen un formulario en línea a través de la plataforma Nearpod. Las preguntas incluidas en el formulario están orientadas a evaluar la comprensión del experimento, las cuales son:

- Nombre de los integrantes del grupo
- ¿El grupo de trabajo logro replicar la práctica experimental?
- ¿Qué variables cree que se ven involucradas en el fenómeno?

- ¿Cree que la geometría del recipiente afecta de alguna manera el fenómeno?
- ¿Cree que el fenómeno se pudiera replicar si se cambia el líquido por otro? Explique su respuesta.
- ¿Cree que el fenómeno se puede replicar si se cambia el líquido por gaseosa o cerveza? Explique su respuesta.
- ¿Se podría formular una hipótesis desde las ciencias naturales sobre el fenómeno recién visto? y si es así ¿Cuál es la hipótesis que se plantea el grupo

A continuación, se presenta las repuestas ordenadas por cada grupo, constituido por cuatro personas. Las respuestas se clasifican en diferentes niveles, mediante el uso de la rúbrica presentada en el capítulo 4.1, para hacer clara la clasificación se subraya la rúbrica para cada grupo en cada uno de los criterios y nivel correspondiente.

Grupo 1.

Hipótesis: ” *Nuestra hipótesis es que la botella estalla por la parte de abajo gracias a la presión generada en la parte del cuello de la botella. El golpe, al ser rápido, deja un exceso minúsculo de aire en el cuello de la botella, el cual, al ser empujado hacia abajo hace que esta última parte reciba toda la presión distribuida en toda su superficie. Si el golpe es totalmente perpendicular, el líquido es empujado de forma uniforme y de esta forma puede darse un corte casi "perfecto" alrededor de únicamente la base de la botella.*”

VARIABLES :Presión, temperatura, el grosor del vidrio y la geometría de la botella, relación entre la cantidad de volumen de líquido y aire, ángulo del golpe

Replicación con otro liquidados Si, al excitarse con un golpe generan una mayor diferencia de presión dentro del mismo.

Tabla A7: Clasificación sesión inicial grupo uno.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.

Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generadas por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada	Utiliza de manera efectiva los principios adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

El grupo establece una relación de causa y efecto directo que relaciona al momento de proponer que si el golpe no es "totalmente perpendicular" no se generaría este fenómeno. Replicabilidad los estudiantes proponen que este fenómeno solo se podría replicar bajo las condiciones específicas de la geometría de la botella, denotando propiedades de la abstracción en la cual se aplican generalidades(leyes) sin prestar atención a los detalles.

Grupo 2.

Hipótesis : *“Cuando la botella está llena de agua, y aplicamos una fuerza en la boca de la botella (un golpe seco) se introduce una pequeña cantidad de aire, lo cual genera una presión mayor al interior de la botella. Además, el líquido permite una transferencia (en toda la botella) eficiente del golpe.*

Todo esto da como resultado la botella rota Se puede explicar algunos efectos, pero no todo el fenómeno.”

Variables: Presión, fuerza, volumen de la botella, mililitros de agua.

Replicación con otro líquidos No, porque a nivel molecular la gaseosa o la cerveza se comporta de una forma diferente al agua.

Tabla A8: Clasificación sesión inicial grupo dos.

Criterio	Nivel		
	Acceptable	Satisfactorio	Avanzado

Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

El grupo tiene observaciones acertadas frente al fenómeno al momento de explicarlo mediante la dinámica que sufre el fluido, pero en su respuesta no se reflejan que el fenómeno se pueda replicar.

Grupo 3.

Hipótesis:” La presión, cuando se da el golpe a la botella, se le introduce aire a la botella por lo que la botella al estar completamente llena de agua, la presión intenta comprimir el agua pero está al ser incomprensible al no poder comprimirlo expande la botella y estalla

Que los líquidos no cambian su volumen por acción de una fuerza y los sólidos si como es el caso de la botella”.

Variables: La presión, la presión intenta comprimir el agua, expande la botella y estalla.

Replicación con otro liquidados: Se podría ejercer una presión mucho mayor ya que el contenido de gas en estos líquidos podría comprimirse.

Tabla A9: Clasificación sesión inicial grupo tres.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado

Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

El grupo en su hipótesis se enmarca en la aditividad ya que separa el fenómeno en dos. Primero es en la compresión que sufre el "líquido" bajo la noción que los líquidos son incompresibles. Segundo que al ser las botellas de vidrio no tiene las condiciones de mantener esta compresión dejando de lado las propiedades en conjunto que puede brindar el sistema.

Grupo 4.

Hipótesis: “ Si, las ciencias naturales incluyen los fenómenos físicos de la naturaleza por lo cual en el experimento se visualiza lo antes mencionado con los fenómenos presentes los cuales eran choques, energía cinética y los demás.”.

Variables: Fuerza Energía cinética Choque inelástico Resistencia del material

Replicación con otro liquidados: Si, el líquido va a transferir la energía sea el que sea solo va a variar la fuerza que se le ejerce.

Tabla A10: Clasificación sesión inicial grupo cuatro.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado

Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generadas por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principios adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

El grupo al no explicitar su hipótesis se dificultó el análisis de esta misma; no obstante, consideran una variable como la energía cinética del agua, se toma en cuenta propiedades de los fluidos, no se explicita el cómo se transfiere esta energía, y no hacen énfasis en que forma.

Grupo 5

Hipótesis: “Cuando tenemos la botella llena de agua y le aplicamos un golpe en la boca de ella, creamos vibraciones o tensiones que afectan mayoritariamente las partes más débiles del vidrio por lo que se quiebra en estas zonas, ya que se evidencia que no todas las botellas se rompen en la misma parte ni de la misma manera, estas vibraciones o tensiones son las que debilitan el material y lo llevan a su punto de quiebre además de la presión dentro de la botella cambia al estar llena de agua.”.

VARIABLES: No responden .

Replicación con otros liquidados: No responde.

Tabla A11: Clasificación sesión inicial grupo cinco.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de causalidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

El grupo establece una serie de relación de causa efecto lineal ya que establecen que las botellas se rompen en las zonas débiles que la afecta alguna vibración, además el grupo demuestra disyunción y reducción al aíslan los elementos del problema ya que al explicar el fenómeno solo describe en las tensiones.

Junto a este diagnóstico se utilizó la inteligencia artificial “ChatGPT” para contar el numero palabras utilizadas por cada grupo. De esta forma se identifican palabras únicas de cada grupo así como palabras en común entre ellos, como se muestra a continuación.

Palabras Únicas por todo el Grupo:

Grupo 1: rápida, deja, exceso, minúsculo, empujado, última, reciba, distribuida, superficie, perpendicular, uniforme, forma, puede, darse, corte, casi, perfecto, alrededor, únicamente, base.

Grupo 2: aplicamos, seco, pequeña, cantidad, mayor, además, permite, transferencia, eficiente.

Grupo 3: da, introduce, completamente, intenta, ser, incomprensible, expande, poder, comprimirlo.

Grupo 4: creamos, vibraciones, tensiones, afectan, mayoritariamente, débiles, vidrio, quiebra, zonas, evidencia, rompen, misma, ni, manera, debilitan, llevan, punto.

Grupo 5: fuerza, energía, cinética, choque, inelástico, del, ciencias, naturales, incluye, físicos, visualizo, antes, mencionado, presentes.

A continuación, se muestran las palabras comunes entre grupos:

Botella:4/5 Golpe:4/5 Presión:5/5 Agua:3/5 Liquido:1/5

Tabla A12: Cuadro de palabras comunes entre las hipótesis de los grupos.

Grupo	Palabras				
	Botella:4/5	Golpe:4/5	Presión:5/5	Agua:3/5	Liquido:1/5
1	$2/39 = 5.13\%$	$1/39 = 2.56\%$	$1/39 = 2.56\%$	(No aparece)	(No aparece)
2	$1/25 = 4\%$	$1/25 = 4\%$	$1/25 = 4\%$	$1/25 = 4\%$	$1/25 = 4\%$
3	$2/34 = 5.88\%$	$1/34 = 2.94\%$	$1/34 = 2.94\%$	$1/34 = 2.94\%$	(No aparece)
4	$1/35 = 2.86\%$	$1/35 = 2.86\%$	$1/35 = 2.86\%$	$1/35 = 2.86\%$	(No aparece)
5	(No aparece)	(No aparece)	(No aparece)	(No aparece)	(No aparece)

Anexo B. Actividad modelo AC (Autómata Celular)

La tabla que se muestra a continuación corresponde a la cuarta sesión de la actividad, en la cual se le presenta a los estudiantes el modelo AC (Autómata Celular). El objetivo principal de esta sesión fue ejemplificar de manera adecuada fenómenos físicos, alejándose de los modelos tradicionales, tal como se explicó en el capítulo 2.8.1.

En un segundo momento de la actividad, los estudiantes interactúan de manera individual con el modelo computacional. Posteriormente, se les solicita que respondan las siguientes preguntas:

Mencione situaciones que suceden cuando se abre la segunda calzada

¿Qué pasa con la contaminación cuando hay dos calzadas?

¿En qué condición es menor la contaminación?

¿En qué condiciones es más probable que se accidente un vehículo?

¿Qué sucede cuando se implementa el límite de velocidad?

¿Qué variables encuentra en el modelo y como se relacionan?

¿Qué otras variables no explícitas del modelo se podrían asociar al fenómeno?

Se hace con la finalidad de poder ver los aportes particulares de cada participante que se logrado obtener a través de la secuencia enseñanza-aprendizaje. Los resultados obtenidos se presentan en

la siguiente tabla se encuentra en la primera columna el número del estudiante el cual respondió, la primera fila se sitúan las diferentes preguntas y debajo de cada una las respuestas a estas

Tabla B1: Recopilación respuestas sesión final actividad modelo autómata celular

Estudiante	Mencione situaciones que suceden cuando se abre la segunda calzada	¿Qué pasa con la contaminación cuando hay dos calzadas?	¿En qué condición es menor la contaminación?	¿En qué condiciones es más probable que se accidente un vehículo?	¿Qué sucede cuando se implementa el límite de velocidad?	¿Qué variables encuentra en el modelo y como se relacionan?	¿Qué otras variables no explícitas del modelo se podrían asociar al fenómeno?
1	Cuando abro la segunda calzada. Aumenta la contaminación ambiental	Esta aumenta, debido al aumento de flujo vehicular	cuando aumentó la velocidad y tengo un solo carril	a velocidades muy altas el riesgo de accidente es mayor	aumenta un poco la contaminación y a su vez previene accidentes entre los autos	velocidades, distancias entre autos, tiempos	probabilidad, contaminación
2	La contaminación ambiental aumenta, el tráfico es más lento y hay más probabilidad de choques	Aumenta	En una vía con autos a una velocidad de 25 m/s	Doble vía, a una alta velocidad	La contaminación aumenta y hay más probabilidad de chocar los autos de la vía no ^o 1	Velocidad, cantidad de vías (se relacionan en como se comporta el tráfico y en su flujo)	La contaminación ambiental
3	Aumenta flujo	Aumenta	Cuando hay una sola vía y todos los vehículos	Cuando se va a máxima velocidad	Previene que ocurra un accidente, ya que no pueden	La velocidad es proporcional al flujo e inversamente	Densidad de vehículos La distancia que

			van al máximo de velocidad		ir a máxima velocidad	proporcional a la contaminación	recorren los vehículos, s mayor velocidad mayor flujo y mayor distancia recorrida
4	Se aumenta la contaminación ambiental si se va a baja velocidad, pero si aumenta la velocidad disminuye la contaminación, pero aumenta el riesgo de que se produzca un accidente.	Aumenta la contaminación.	Cuando la velocidad es mayor y solo hay una vía.	Sea una vía o dos, cuando aumenta la velocidad.	Se reduce el riesgo de accidentes al tener un límite de velocidad fijo.	Velocidad, cantidad de vías, velocidad límite, contaminación ambiental. Su relación depende de la velocidad la que sería inversamente proporcional a la contaminación ambiental, y la cantidad de vías sería directamente proporcional a la contaminación ambiental.	Condiciones climáticas, diferentes formas de la vía.
5	la contaminación aumenta pero ahora con la diferencia de que hay mas	aumenta	cuando es solo un carril además de tener una velocidad alta	en cualquiera de las dos vías, como la de solo un carril como	veo que ya no ocurren accidentes	la contaminación, la cual es dependiente de la cantidad de	flujo vehicular

	flujo vehicular, además de mayores accidentes de tránsito			en la de dos cuando se da la condición de que la velocidad es muy alta, siendo mas probable que pase con dos carriles		vehículos como de la velocidad de estos. También se tendría la cantidad de accidentes que dependería de la velocidad como del limite que esta tenga	
6	El flujo vehicular aumenta	Aumenta con respecto a cuando había solo una	En condiciones de velocidad máxima con una sola vía (alto riesgo de choque).	Con velocidad máxima.	Se reduce la posibilidad de un accidente y la contaminación toma valores específicos (uno para una calzada y otro más grande para dos)	Velocidad, velocidad límite (sí o no), contaminación ambiental, número de vías (una o dos). La velocidad es inversamente proporcional a la contaminación ambiental. La contaminación ambiental es inversamente proporcional al número de vías. La velocidad límite es un valor	Flujo vehicular, probabilidad de choques.

						establecido de la velocidad.	
7	Aumenta significativamente los accidentes si no hay límite de velocidad	Aumenta significativamente	Cuando hay una sola vía y el máximo de velocidad es alto	Cuando se quita el límite de velocidad y hay dos vías	Los accidentes ocurren mucho menos sin embargo también aumenta la contaminación	La velocidad, la contaminación, la aceleración, el número de vías. Por ejemplo si aumenta la velocidad en dos carriles se disminuye la contaminación .	La toma de decisiones de las personas que conducen los autos.
8	1. Cuando los carros van a la velocidad más alta la contaminación ambiental es la más baja. 2. Cuando los carros van a la velocidad más baja la contaminación ambiental es la más alta. 3. Si los carros van a una velocidad límite	Cuando hay dos calzadas suele aumentar la contaminación ambiental, en comparación de cuando hay una.	Cuando los carros van a la velocidad más alta y no hay una velocidad límite, la contaminación ambiental es menor.	Cuando los carros no tienen una velocidad límite y van a la velocidad más alta posible.	Aumenta la contaminación ambiental, en comparación de cuando no se implementa.	La variación de la velocidad y de número de vías, además de la variación de la contaminación ambiental.	Fenómenos ambientales y estructurales.

	lo más probable es que haya una contaminación ambiental alta.						
9	Aumenta la contaminación ambiental, la velocidad se vuelve la mitad.	Aumenta.	Cuando se puede la velocidad límite.	Cuando hay una sola calzada sin velocidad límite.	Los accidentes y la contaminación se reducen.	Velocidad, cantidad de vías, flujo de vehículos y contaminación ambiental. Si la cantidad de vías y la velocidad aumentan el flujo puede ser mayor, y si el flujo es mayor y la velocidad se reduce, la contaminación ambiental aumentará.	El tiempo en la trayectoria de los vehículos,
10	Al haber 2 calzadas hay varias situaciones; Hay situaciones en las que se le puede colocar límite de	La contaminación se mantiene a más de la mitad de la barra de referencia	al haber una sola vía y colocar un límite de velocidad la contaminación se mantiene en un punto	al no haber límites de velocidad y que los carros vayan a altas velocidades	la contaminación del ambiente se mantiene en un punto y no ocurren	Las velocidades son variables que pueden ser independientes al conductor	Al estar el vehículo a altas velocidades pues los componentes del vehículo varían mucho ahí, unas buenas llantas

	<p>velocidad y esto afecta la contaminación al ambiente, pero si ocurre un accidente, aunque de igual manera esa contaminación varia según el limite que se coloque. En el segundo caso que es sin limite de velocidad este también fluctúa con la contaminación del ambiente pero con el problema que genera mas accidentes a altas velocidades y esto disminuye la velocidad en ambas calzadas</p>	<p>del programa por lo cual se ve una mayor contaminación al haber 2 vías</p>	<p>aceptable el cual no varia mucho</p>		<p>accidentes tan seguido</p>		<p>que no deslicen y provoquen un accidente, que este lloviendo... hay varias variables que no son muy directas pero que si lo afectan</p>
11	<p>hay un mayor flujo de vehículos y mayor</p>	<p>aumenta rápidamente</p>	<p>cuando los vehículos aceleran o están constantemente</p>	<p>es mas probable que haya un accidente</p>	<p>el sistema esta en equilibrio ya que la contaminación</p>	<p>velocidad-contaminación - vías mayor</p>	<p>distancia, tiempo tamaño del vehículo</p>

	contaminación aunque no se chocan los carros		moviéndose en la vía	cuando los vehículos se mueven a una velocidad muy rápida	esta a niveles medios y no hay accidentes por lo que el flujo vehicular no se interrumpe	contaminación ,mayor numero de vías y mayor velocidad mayor velocidad, mayor accidentalidad, mayor contaminación	
12	Con una velocidad media el software nos indica que aumenta la contaminación ambiental	Aumenta la contaminación ambiental	En la medida que la velocidad del flujo vehicular aumenta disminuye la contaminación	La probabilidad de que se presente un accidente es cuando se aumenta demasiado la velocidad del flujo vehicular	El software muestra que cuando hay limitación en la velocidad del flujo la probabilidad de accidentes baja en gran medida	La velocidad es inversamente proporcional a la contaminación ambiental por que cuando la velocidad aumenta la contaminación disminuye. De igual manera la velocidad y la tasa de accidente es directamente proporcional por que cuando aumenta la velocidad, la tasa de accidentes aumenta igual.	Faltaría agregar variaciones en autos específicos entre otros

Anexo C. Explicación actividad movilidad

En la fase de cierre de la estrategia de enseñanza aprendizaje, después que los participantes interactúan con el modelo AC, se instruye para que conformen grupos. Se establece que los integrantes de cada grupo, formados por alrededor 4 a 5 personas, deberán residir en sectores cercanos entre ellos, por lo que, en este caso, se optó por agruparlos según sus localidades.

Los grupos deben identificar una problemática relacionada con los inconvenientes, asociados con el tráfico, que enfrentan al trasladarse desde su zona de residencia hasta la universidad. Una vez establecida la problemática, se les solicita que propongan una estrategia de solución y analicen las posibles consecuencias derivadas de su implementación.

La finalidad de la actividad es poder evaluar el tránsito de los estudiantes desde un esquema de pensamiento idealista hacia un pensamiento complejo, evidenciado una comprensión más profunda de las interacciones en un sistema.

A continuación, se presentan los resultados de cada grupo.

Grupo 1

Problemática : “La carrera 11, cantidad de semáforos y los constantes cambios de carril de tanto los particulares como los articulados dentro de esos problemas, particularmente identificamos el carril particular de los SITPS Qué sentimos que no se les da el uso adecuado y no hace el uso adecuado, pero ser, cómo decirlo, ilegal transitar por ellos entonces prácticamente”.

Con un carril que se da para solucionar algo pero que a la final no se está utilizando, entonces ese espacio muerto dentro de la carretera que en el cual si usted transita igual puede montarlo, no como solución, pues nosotros decimos que una de ellas sería de pronto integrar un sistema de dinamización de semáforos.

Posible solución: Pensamos que una de las soluciones también sería aumentar el el número de fuentes peatonales o más de puentes peatonales o más puntualmente atacando el problema en su raíz. si bien no dar como tal un carril total exclusivo, sí dar como el el pedacito en el que no te puedes poner aquí, porque ahí va a parar el SITP

Posibles Consecuencias : sería digamos también que sea un poco más desordenado, como el momento de que los SITPS al no tener ya un carril exclusivo.

El no uso de los puentes peatonales y también por el hecho de tener más puentes peatonales, los cuales son elevados, eso sería también una consecuencia con la salud pública de las personas, porque pues ya sabemos que, pues mientras más arriba estén los gases que que liberan los, pues los automóviles van a llegar a ellos, no?

Tabla C1: Clasificación sesión final grupo uno.

Criterio	Nivel		
	Acceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

Grupo 2

Problemática : “hay un trancón que se haga fuerte o pesado en estos momentos, a excepción de cuando es, por ejemplo, por las tardes 3:50 y 6, hay muchas veces se hace un tranco que llega desde ahí, desde él la Jiménez bueno, desde ese cruce. Hasta la 19 podría ser la 22, o sea se hace un trancón muy grande y nosotros hemos notado que eso es pues se hace demasiado evidente, más que nada en los Transmilenio esto porque parte de vehicular pues también se hace trancones, pero digamos que hay más solvencia nuestra, nuestra, nuestra solución”

Posible solución: ¿Entonces nosotros qué decidimos un túnel? Claro, ahí se nos hace un pues varios problemas no teman pues de que si se hace un túnel pues se tiene que dejar un tiempo largo, por lo cual pues los que hacen desde la Caracas no van a poder.

Posibles Consecuencias :¿Tarde o temprano sería un cuello botella? Sí, pues porque desemboca en un lado y también tiene que llegar las otras 300 líneas que van de la de las Américas. Entonces tarde o temprano se vuelve a hacer el trancón, pero al menos ese cruce, eso se lo haría un poquito más rápido. Pues bueno, nuestro punto que escogimos es el punto de banderas y pues nuestra problemática es que básicamente hayamos que es un punto muy concurrido.

Tabla C2: Clasificación sesión final grupo dos.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

Grupo 3

Problemática: pues a la hora pico está atiborrado de gente, y lo que pasa es que los Transmilenio llegan por decirlo así y lentamente no llegan a tiempo, y si llegan a tiempo, entonces es con mucha gente, lo cual genera, pues, que las personas tiendan a, por decirlo así, a montarse en el primero que que esté, y pues muchas veces no se puede cerrar ni siquiera el transmitir, entonces se demora también más tiempo

Posible solución

¿Qué cosa pues pudimos dar como solución es la modulación de los horarios de los vehículos, que realmente sí se estandarice de una buena manera dichos horarios para que el punto que están concurrido?

Posibles Consecuencias

Que haya más posibilidades de que haya accidentes o haya sí embotellamientos, ya que el momento de salir pues va a ser más. Por decirlo así, el tráfico va a ser mucho más grande y pues eso sería como

Tabla C3: Clasificación sesión final grupo tres.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generadas por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principios adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

Grupo 4

Problemática: Es acá bueno, nosotros vivimos en la 80 y realmente pues no hay, no hay un problema en Transmilenio como tal 1 suele llegar en 50 minutos máximo al de de la 80 acá a la Universidad, entonces nosotros nos planteamos que pues. Un medio alternativo, medio transporte alternativo para llegar a la Universidad

Posible solución: pues la creación de de de vías de ciclovías que no vayan directamente por la 80, sino que vayan de manera paralela a la A la 80, donde hay menos. Tras y para el tema de de. Y que sea más cómodo para los carros moverse por el 80, reducir la cantidad de semáforos que hay y crear más de pronto puentes de puentes personales para para que sea más rápido para irse

Posibles Consecuencias no Responde

Tabla C4: Clasificación sesión final grupo cuatro.

Criterio	Nivel		
	Acceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

Grupo 5

Problemática: Nosotros nos planteamos la idea aquí en la Caracas con carrera 14, o sea en el cruce agrocampo.

Posible solución: digamos por la barata viene pues el factor de la doble vía. Vemos que esa que sé que esa calle tiene 3 carriles hacia el Oriente y pues la idea sería poner dos y 1 hacia el hacia el Occidente. Esto digo aquí aquí digamos, pues el factor psicológico de que digamos es una doble vía, pues ya no sería tan una alternativa directa a cruzar al Oriente.

Para pasarla a Caracas también vemos que, pues digamos, este factor psicológico puede ayudar que tomen otras alternativas de vías principales tipo la 26 y la 63 o la misma calle 80, Como segunda alternativa pues planteamos como la idea cara que, pues ya escogerá pues la mesa un túnel en el cual, pues pasaría pues eso, como 30 a 40 m debajo de la Caracas, viendo como quitar ese semáforo y poder dar una vía directa.

Con eso pues digamos el Transmilenio no se ve afectado y sigue transcurriendo la normal encima de la Caracas pues de nuestro túnel, lo cual pues vemos que la dificultad era el paso peatonal

Posibles Consecuencias: pues digamos qué problemas nosotros vemos en la construcción del túnel, pues buscar las vías alternativas, que igualmente el factor psicológico nos llevará a la 26, la 63 y la calle 80, y pues este digamos reducirá y pues también de forma de arquitectura, pues sería más bonita la ciudad y pues esas son las 2:00 h ideas y pues ya el que escoge es el alcalde.

Tabla C5: Clasificación sesión final grupo cinco.

Criterio	Nivel		
	Aceptable	Satisfactorio	Avanzado
Descripción de la problemática planteada	Identifica posibles causas a través de causalidad lineal.	Identifica y describe a través de la causalidad lineal las problemáticas y se denotan indicios de causalidad no-lineal.	Reconoce las problemáticas utilizando causalidad lineal y causalidad no-lineal.
Análisis del fenómeno	Idealiza el fenómeno para su descripción y descomposición despreciando variables del entorno.	Considera algunas variables diferentes a las que se abordan en el campo ideal.	Analiza el fenómeno mediante las variables consideradas en un sistema ideal junto con variables que presenta mediante los principios emergencia y la adaptación.
Explicación de la de solución	Utiliza el principio de casualidad lineal al proponer consecuencias generan por la solución propuesta o no identifica consecuencias en la solución de la problemática.	Utiliza el principio de adaptación o el principio de causalidad no lineal, en la propuesta de solución de problemas, pero de manera limitada.	Utiliza de manera efectiva los principio adaptación y causalidad no lineal mostrando una capacidad para generar escenarios consecuentes a mediano y largo plazo.
Apropiación de conceptos	Se presentan dificultades para aplicar los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico	Utiliza de manera limitada los principios de adaptación, emergencia, y enfoque sistémico en la solución de diferentes problemáticas.	Utiliza de manera efectiva los principios de adaptación, emergencia y causalidad no lineal junto con un enfoque sistémico en las problemáticas planteadas

Anexo D. resultados obtenidos

A continuación, se presentan las tablas y graficas que se obtuvieron al comparar la sesión inicial vs la sesión final

Tabla D1 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia-enseñanza aprendizaje criterio descripción de la problemática planteada.

Descripción de la problemática planteada		
Nivel	Sesión inicial	Sesión Final
Aceptable	100%	40%
Satisfactorio	0%	60%
Avanzado	0%	0%

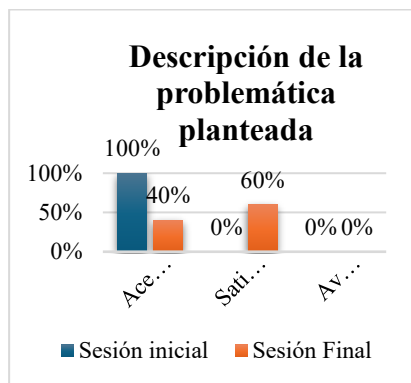


Figura D1 Diagrama de barras criterio descripción de la problemática planteada inicial VS sesión Final.

Tabla D2 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia enseñanza- aprendizaje criterio Análisis del fenómeno.

Análisis del fenómeno		
Nivel	Sesión inicial	Sesión Final
Aceptable	60%	0%
Satisfactorio	40%	20%
Avanzado	0%	80%

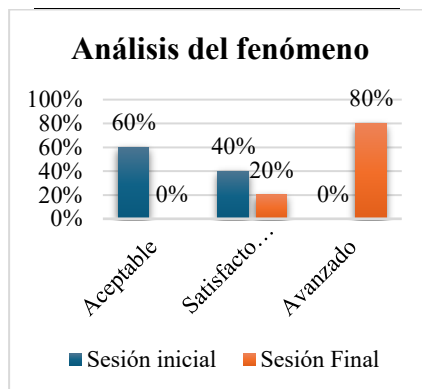


Figura D2 Diagrama de barras criterio análisis del fenómeno, sesión inicial VS sesión Final.

Tabla D3 Descripción en del progreso en porcentajes de la estrategia enseñanza- aprendizaje criterio Explicación de la de solución.

Explicación de la de solución		
Nivel	Sesión inicial	Sesión Final
Aceptable	80%	0%
Satisfactorio	20%	60%
Avanzado	0%	40%

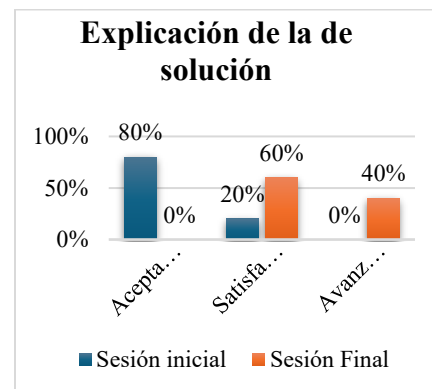


Figura D3 Diagrama de barras criterio explicación de la solución, sesión inicial VS sesión Final.

Tabla D4 Descripción global en porcentajes de la estrategia enseñanza-aprendizaje a nivel general.

Análisis General		
Nivel	Sesión inicial	Sesión Final
Aceptable	80%	14%
Satisfactorio	20%	46%
Avanzado	0%	40%

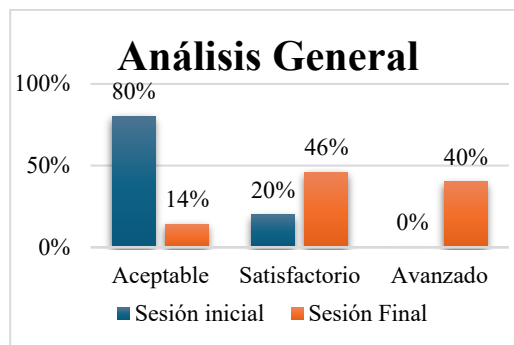


Figura D4 Diagrama de barras general sesión inicial VS sesión Final.

Anexo E. Evaluación de la secuencia por parte de los estudiantes

Los Participantes diligencian el formulario que contiene las siguientes preguntas

Semestre que está cursando

Edad

Claridad y relevancia del contenido: Valoración sobre la facilidad de comprensión y aplicabilidad del contenido.

Que aspectos aportaría a la secuencia de enseñanza-aprendizaje

Objetivos del curso: Evaluación del conocimiento de los objetivos antes del curso y percepción sobre su cumplimiento tras la finalización.

Materiales y recursos: Utilidad y adecuación de los materiales proporcionados.

Actividades y prácticas: Efectividad de estas para reforzar el aprendizaje.

Capacidad de comunicación: Habilidad del ponente para transmitir los conceptos claramente.

Interacción: Capacidad del ponente para fomentar la participación y mantener el interés.

Disponibilidad: Facilidad para consultar dudas y obtener feedback por parte del ponente.

Incremento de conocimiento y habilidades: Percepción sobre el aumento de conocimiento o habilidades tras la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Aplicabilidad: Potencial de aplicación de lo aprendido en contextos laborales o personales.

Recomendación: Probabilidad de recomendar este curso a colegas o amigos.

Valoración global del curso

Que le aportaría al ponente para que capte su atención

Sugerencias, aportes u oportunidades de mejora que se pueden aplicar en la secuencia de enseñanza aprendizaje

De manera personal bríndenos su opinión sobre la secuencia de enseñanza-aprendizaje

Que le aportaría al ponente para que capte su atención

Cree que la secuencia de enseñanza-aprendizaje les brindo una visión complementaria para abordar problemas y situaciones de la física y la vida cotidiana

Las respuestas al formulario, de los estudiantes que asistieron a esta sesión, se pueden ver en el siguiente enlace:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1VixwPFENysurN2ahDGwDZfUXtRMuAmw_47ScpM-cc_A/edit?usp=sharing