Secuencia didáctica para enseñar fluidos no newtonianos a estudiantes de tercero y cuarto medio en ciencias para la ciudadanía

EDVCATIO PHYSICORVM
QVO NON ASCENDAM ?

ISSN 1870-9095

Alexandra Belén Silva Pérez[1], **Patricia Estrella Rojas Salinas**[2], **Cristian Luis Villavicencio Reyes**[1]
[1]*Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío, Avda. Andrés Bello 720, Casilla 447, Chillán, Chile.*
[2]*Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Alba, Panamericana Norte 3651, Chillán, Chile.*

E-mail: alexandra.silva2001@alumnos.ubiobio.cl

(Recibido el 10 de junio de 2026, aceptado el 20 de junio de 2026)

Abstract

This research evaluates the effectiveness of an inquiry-based didactic sequence (DS) for the development of conceptual understanding and scientific skills related to Non-Newtonian Fluids in 11th and 12th-grade students. The qualitative study focused on analyzing response patterns in questionnaires and laboratory reports. Results confirmed a partial and dissociated development of the variables, manifested in three achievement profiles. A high analytical competence (viscosity calculation) was observed, which critically contrasted with low empirical rigor (omission of repeated measurements) in the majority of students. Conceptually, the understanding of the rheological phenomenon (non-linearity) was achieved, but confusion persisted in formal terminology. It is concluded that the DS is viable but must incorporate greater metacognitive reflection to consolidate empirical rigor and conceptual assimilation.

Keywords: Non-Newtonian fluids, inquiry, didactic sequence, PACS: 01.40.ek, 01.40.gb, 47.50.-d

Resumen

Los fluidos no newtonianos son un campo de múltiples aplicaciones. El objetivo de este estudio es diseñar y validar una secuencia didáctica centrada en fluidos no newtonianos que favorezca comprensión conceptual, habilidades científicas y transferencia tecnológica en estudiantes de enseñanza media. Se realizó un estudio cualitativo exploratorio descriptivo, con una muestra de 30 estudiantes; analizando los patrones de respuesta en cuestionarios y reportes de laboratorio. Los resultados confirmaron un desarrollo parcial y disociado de las variables, manifestándose en tres perfiles de logro, observándose una alta competencia analítica (cálculo de viscosidad) que contrastó críticamente con el bajo rigor empírico (omisión de la repetición de mediciones). Conceptualmente, se logró la comprensión del fenómeno reológico (no-linealidad), pero persistió la confusión en la terminología formal. La Secuencia Didáctica es viable, debe incorporar mayor reflexión metacognitiva para consolidar el rigor empírico y la asimilación conceptual.

Palabras clave: Fluidos no newtonianos, indagación, secuencia didáctica

I. INTRODUCCIÓN

Los fluidos no newtonianos constituyen un campo de creciente relevancia científica e industrial debido a su comportamiento reológico no lineal y su presencia transversal en procesos productivos, energéticos, biomédicos y tecnológicos contemporáneos. Estudios recientes destacan su papel en la optimización de recursos energéticos y caracterización avanzada de flujos complejos [1, 2, 3, 4]. A nivel reológico, revisiones actuales profundizan en la complejidad constitutiva de estos materiales y su dependencia de condiciones de deformación [5].

A pesar de esta relevancia, los fluidos no newtonianos no ocupan un lugar explícito en el currículum escolar chileno de Ciencias Naturales [6]. Esta omisión curricular contrasta con la necesidad contemporánea de una educación STEM auténtica, orientada a la modelización y resolución de problemas contextualizados [7]. La ausencia de estos contenidos representa una brecha entre la ciencia actual y la ciencia escolar.

Desde la didáctica de la física, diversas investigaciones han evidenciado dificultades persistentes en la construcción conceptual. Young [8] señala un desfase entre el lenguaje cotidiano del estudiantado y el lenguaje disciplinar experto, lo que genera comprensiones fenomenológicas superficiales. En línea con ello, Sánchez *et al*., [9] sostienen que los estudiantes pueden describir fenómenos sin integrar

marcos teóricos consistentes. La resolución colaborativa de problemas ha mostrado efectos positivos en el desarrollo cognitivo-lingüístico en física [9], aunque persisten desafíos estructurales en el aprendizaje disciplinar [10].

Asimismo, la educación científica actual enfatiza la necesidad de fortalecer la motivación y valores asociados al aprendizaje [11] así como la percepción del rol docente en el desarrollo conceptual [12]. La indagación científica se posiciona como estrategia clave en la formación tanto inicial como en servicio del profesorado [13].

El problema central radica, entonces, en la desconexión entre la complejidad científica actual de los fluidos no newtonianos y su escasa presencia en la educación escolar, sumado a dificultades persistentes en la enseñanza de la física conceptual.

En este marco, la pregunta que orienta el estudio es: ¿De qué manera contribuye una secuencia didáctica basada en indagación al desarrollo de conceptos científicos, habilidades de pensamiento y aplicaciones tecnológicas en el aprendizaje sobre fluidos no newtonianos?

Se plantea como objetivo general diseñar y validar una secuencia didáctica centrada en fluidos no newtonianos que favorezca comprensión conceptual, habilidades científicas y transferencia tecnológica en estudiantes de enseñanza media.

Las limitaciones reconocidas incluyen la escasez de literatura específica en educación sobre fluidos no newtonianos y las condiciones contextuales de implementación experimental en la región de Ñuble.

II. Marco Teórico

El marco teórico articula fundamentos desde la mecánica del continuo, la reología y la didáctica de las ciencias, configurando un sustento interdisciplinario para la incorporación de fluidos no newtonianos en el aprendizaje escolar.

La caracterización de fluidos se basa en la hipótesis del continuo, que asume distribución continua de la materia independientemente de la escala de observación [14]. En este marco, los fluidos se distinguen por su deformación continua frente a tensiones anisotrópicas, en contraste con sólidos cristalinos y amorfos [14].

Mientras que los fluidos newtonianos presentan relación lineal entre tensión y tasa de deformación, los no newtonianos manifiestan comportamientos dependientes de la magnitud y dirección de fuerzas aplicadas [5, 14]. La modelización de estos sistemas se ha fortalecido mediante herramientas computacionales e inteligencia artificial [1, 2, 3].

Respecto a la interdisciplinariedad y las aplicaciones tecnológicas, los fluidos no newtonianos poseen aplicaciones en microfluídica y sensores avanzados [4] así como en optimización de procesos industriales [1]. Esto refuerza su pertinencia en un enfoque STEM auténtico orientado a modelización [7].

Por su parte, la enseñanza de fenómenos complejos exige integrar modelización, diseño experimental y argumentación científica [15, 16]. La indagación científica ha sido identificada como estrategia eficaz para el desarrollo de habilidades de pensamiento superior [17].

El currículum nacional ofrece marcos indirectos para integrar estos contenidos en propiedades de la materia y fenómenos físicos [6, 17]. Sin embargo, la incorporación explícita de fluidos no newtonianos permitiría reducir la brecha entre ciencia escolar y ciencia contemporánea.
Finalmente, los desafíos estructurales en la enseñanza de la física requieren superar enfoques transmisivos tradicionales [10] y promover prácticas colaborativas fundamentadas [9].

III. Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, orientado a comprender e interpretar la forma en que los estudiantes construyen nociones conceptuales y desarrollan habilidades científicas a partir de la implementación de una secuencia didáctica basada en la indagación. Este enfoque resulta pertinente cuando el interés investigativo se centra en los significados, comprensiones y procesos de aprendizaje más que en la medición numérica de variables, permitiendo un análisis interpretativo de las producciones y discursos de los participantes [18]. Esta investigación se sitúa en un enfoque cualitativo-interpretativo orientado a comprender procesos de construcción conceptual más que a medir únicamente resultados cuantificables [19], reconociendo también aportes de la tradición metodológica cuantitativa en ciencias sociales [20].

Desde el punto de vista metodológico, la investigación corresponde a un estudio exploratorio-descriptivo, dado que aborda un fenómeno escasamente tratado en el ámbito de la educación científica escolar (los fluidos no newtonianos) y busca caracterizar las nociones emergentes de los estudiantes a lo largo del proceso didáctico. Las categorías de análisis no fueron establecidas a priori de forma rígida, sino que emergieron progresivamente a partir del análisis de los datos cualitativos generados durante la intervención.

El diseño adoptado fue de investigación-acción, en tanto el estudio se llevó a cabo en un contexto educativo real y tuvo como propósito simultáneo comprender y mejorar la práctica pedagógica. Este diseño implica la participación activa de los estudiantes en la construcción del conocimiento, favoreciendo procesos de exploración, indagación y reflexión sobre fenómenos científicos vinculados a su vida cotidiana, como el comportamiento de materiales presentes en productos de uso común (p. ej., pastas dentales, mieles y pinturas).

El estudio se realizó en un establecimiento educacional urbano de la ciudad de Chillán, Región de Ñuble, Chile, específicamente en la asignatura Ciencias para la Ciudadanía. La población estuvo constituida por estudiantes de tercero y cuarto año de enseñanza media, mientras que la muestra correspondió a 30 estudiantes de tercero medio, seleccionados por conveniencia, quienes participaron íntegramente en la implementación de la secuencia didáctica.

Los criterios de inclusión consideraron: estudiantes matriculados en tercero o cuarto medio, que cursaran la asignatura Ciencias para la Ciudadanía, pertenecientes a establecimientos urbanos de la ciudad de Chillán, con asistencia mínima a cinco sesiones y desarrollo completo del cuaderno de trabajo. Se excluyeron estudiantes que no cumplieran con dichos requisitos o que no contaran con consentimiento y asentimiento informado.

En cuanto a los docentes involucrados, se consideraron como criterio de inclusión aquellos pertenecientes al área de Ciencias Naturales (Biología, Física o Química), con experiencia en docencia directa en educación media.

El principal material de recolección de datos fue una secuencia didáctica basada en la indagación, diseñada específicamente para este estudio. Dicha secuencia se estructuró en cinco sesiones de 90 minutos, orientadas al abordaje progresivo del fenómeno de los fluidos no newtonianos. Como producto central del proceso, los estudiantes elaboraron un póster científico, apoyado por un cuaderno de trabajo, en el cual registraron hipótesis, observaciones, procedimientos metodológicos, análisis de resultados y reflexiones finales.

El cuaderno de trabajo constituyó la principal fuente de datos cualitativos, al contener evidencias escritas del razonamiento científico, la comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades asociadas a la indagación.

TABLA 1. Planificación de la secuencia

Seción	Titulo	Actividad principal del estudiante	Producto esperado
1	Explorando FNN	Responder test diagnóstico y observar un polímero en flujo para distinguir diferencias iniciales	Cuestionario inicial resuelto
2	Experimentando	Ejecutar experimento con probetas, medir tiempos de caída de esferas y calcular viscosidad aparente	Tabla de datos y Diagrama de flujo del procedimiento
3	Investigación bibliográfica	Buscar artículos en bases de datos académicas (Google Scholar, SciELO) sobre aplicaciones reales	Ficha bibliográfica y redacción de objetivos general/específicos
4	Resultados y discusión	Procesar datos obtenidos mediante gráficos y contrastar resultados con la teoría revisada	Gráficos de velocidad/viscosidad y texto de discusión
5	Comunicación	Sintetizar todo el proceso de investigación de forma visual y oral	Póster Científico y presentación oral

Nota para la tabla 1. La aplicación del instrumento se articuló mediante una secuencia didáctica de cinco sesiones cronometradas en 90 minutos cada una. El proceso se diseñó para transitar desde la indagación fenomenológica inicial hasta la comunicación formal de hallazgos. Cada sesión integró una actividad nuclear orientada a la construcción de conceptos científicos, cuya ejecución fue evidenciada a través de productos específicos registrados en el cuaderno de trabajo y sintetizados finalmente en un póster científico.

La secuencia didáctica y el cuaderno de trabajo fueron sometidos a un proceso de validación mediante juicio de expertos, con el objetivo de asegurar su pertinencia, claridad y coherencia con los objetivos de la investigación. Participaron entre cinco y siete expertos, todos docentes de enseñanza media en las áreas de Biología, Física o Química, con formación de postgrado (magíster o doctorado) y experiencia en educación científica.

Cada experto evaluó de manera individual los componentes del instrumento, emitiendo observaciones respecto a la relevancia conceptual, adecuación didáctica y claridad de las actividades. A partir de este proceso, se realizaron ajustes al instrumento inicial, dando origen a la versión final utilizada en la implementación.

Previo a la implementación, se obtuvo la autorización del Comité de Ética Científico de la Universidad del Bío-Bío, así como los permisos institucionales correspondientes. Posteriormente, se coordinó con el equipo directivo del establecimiento educacional la calendarización y condiciones de aplicación.

La secuencia didáctica se implementó luego de la firma de Consentimiento informado por parte de los estudiantes durante el mes de noviembre de 2025, como parte regular de la asignatura Ciencias para la Ciudadanía. Durante las sesiones, el investigador actuó como facilitador del proceso de indagación, promoviendo la participación activa y el trabajo colaborativo de los estudiantes.

El análisis se realizó a partir de los cuadernos de trabajo elaborados por los estudiantes, utilizando una rúbrica analítica diseñada para evaluar niveles de comprensión conceptual y desarrollo de habilidades científicas (formulación de hipótesis, observación, argumentación y comunicación científica). El proceso de análisis fue de carácter interpretativo, considerando tanto el contenido explícito de las respuestas como la coherencia interna de los razonamientos expresados.

El estudio cumplió con los principios éticos establecidos para investigaciones con seres humanos y, particularmente, con menores de edad. Se obtuvo consentimiento informado de los padres o tutores legales y asentimiento informado de los estudiantes, garantizando la voluntariedad de la participación, la confidencialidad de la información y el uso exclusivo de los datos con fines académicos y científicos.

Todos los procedimientos e instrumentos fueron evaluados y aprobados por el Comité de Ética de la Universidad del Bío-Bío (Registro N.º 95, año 2025; Informe N.º A0128).

IV. Resultados

La implementación de esta secuencia didáctica se llevó a cabo en un contexto educativo real, específicamente en la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía con estudiantes de tercero medio. El proceso se estructuró bajo un modelo de investigación-acción y un enfoque de indagación científica, permitiendo que la construcción del conocimiento ocurriera de forma progresiva a través de cinco sesiones de 90 minutos cada una.

El docente asume un rol de facilitador del proceso de indagación. Su labor no consiste en la transmisión tradicional de contenidos, sino en guiar la transferencia de la teoría a la realidad mediante el uso de un lenguaje técnico y el modelado de habilidades. Es responsable de generar un ambiente de aula positivo, plantear preguntas desafiantes y promover la autonomía de los estudiantes, supervisando además la seguridad en el manejo de materiales experimentales.

El estudiante es el protagonista activo de su propio aprendizaje. Durante la secuencia, se exploraron fenómenos físicos cotidianos, formulación de hipótesis (utilizando la estructura "si... entonces...") y diseño de metodologías experimentales representadas en diagramas de flujo. Cada alumno registra su razonamiento, mediciones y análisis en un cuaderno de trabajo personal, interactúa colaborativamente con sus pares para discutir resultados y culmina el proceso comunicando sus hallazgos a través de la elaboración y exposición de un póster científico.

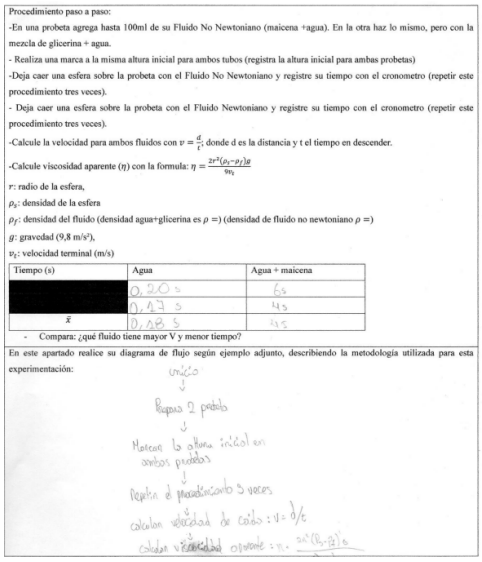
Respecto de la comprensión de los estudiantes respecto de los conceptos fundamentales asociados a los fluidos, habilidades científicas desarrolladas durante la secuencia, creación de modelos y relación de la teoría con los resultados para el aprendizaje de los fluidos no newtonianos.

Específicamente respecto del manejo del concepto de Fluido, inicialmente no se encontró evidencia de un error grave en P1, por lo que este concepto está generalmente internalizado, la mayor parte de los estudiantes acierta, lo que evidencia una comprensión inicial solida del significado físico de un fluido. (Un fluido es un conjunto de moléculas que se ordenan aleatoriamente y se mantienen juntas a partir de fuerzas cohesivas débiles y fuerzas que ejercen las paredes de un contenedor. [21, pág. 389)]. A excepción de Estudiante A; posee un Nivel Bajo; esto evidenciado por ejemplo en la respuesta a la pregunta ¿Qué es un fluido?, donde la estudiante refiere: “Es una sustancia que no tiene forma fija y puede fluir”

Respecto del concepto de viscosidad, se puede indicar que no se encontró evidencia de error grave. El concepto de resistencia es conocido. La mayoría de los estudiantes acierta (verdadero), demostrando una comprensión general de la viscosidad como resistencia interna o fricción. La teoría señala que el término viscosidad se usa comúnmente en la descripción del flujo de fluido para caracterizar el grado de fricción interna en el fluido. Esta fricción interna, o fuerza viscosa, se asocia con la resistencia que tienen dos capas adyacentes de fluido para moverse una en relación con la otra. La viscosidad hace que parte de la energía cinética del fluido se convierta en energía interna. [21, pág. 399]. A excepción del estudiante B, quién indica “La viscosidad es la resistencia de un líquido al movimiento”.

Respecto del manejo de la diferencia entre fluidos newtonianos y no newtonianos se muestra una diferenciación entre la viscosidad constante y la viscosidad variable con la fuerza. Por ejemplo el Estudiante A indica que “Su viscosidad cambia cuando se agita o se aplica fuerza”; esto Demuestra la confusión conceptual más común: describir al fluido newtoniano con las características del No Newtoniano (viscosidad que cambia con la fuerza). Y tal como señala la teoría un fluido newtoniano (incompresible) es un fluido parcialmente viscoso. Esta viscosidad varia significativamente con la temperatura y hasta cierto punto también con la presión en el fluido. Un fluido no newtoniano no sigue la ecuación constitutiva lineal [14, pág. 6].

En relación al Manejo del principio reológico de fuerzas de cizallamiento, específicamente respecto de la pregunta ¿Por qué un fluido no newtoniano se dice que “no sigue las leyes de Newton”? Estudiante A indica:” Porque no responde linealmente a la fuerza aplicada”; esto muestra que el estudiante comprende el principio reológico subyacente a la fuerza de cizallamiento. No obstante, la mayoría demuestra una falta de comprensión de la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta no lineal del fluido. Según la literatura un elemento de volumen determinado durante un breve intervalo de tiempo cambiara su forma. Este cambio esta dado por la deformación de corte [14, págs. 7-8].


Procedimiento paso a paso:
-En una probeta agrega hasta 100ml de su Fluido No Newtoniano (maicena +agua). En la otra haz lo mismo, pero con la mezcla de glicerina + agua.
- Realiza una marca a la misma altura inicial para ambos tubos (registra la altura inicial para ambas probetas)
-Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido No Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repetir este procedimiento tres veces).
- Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repetir este procedimiento tres veces).
-Calcule la velocidad para ambos fluidos con $v = \frac{d}{t}$, donde d es la distancia y t el tiempo en descender.
-Calcule viscosidad aparente (η) con la formula: $\eta = \frac{2r^2(\rho_s - \rho_f)g}{9v_t}$
r: radio de la esfera,
ρ_s: densidad de la esfera
ρ_f: densidad del fluido (densidad agua+glicerina es ρ =) (densidad de fluido no newtoniano ρ =)
g: gravedad (9,8 m/s²),
v_t: velocidad terminal (m/s)

Tiempo (s)	Agua	Agua + maicena
[redacted]	0,20 s	6s
	0,27 s	4,5
$\bar{x}$	0,235 s	4,5

- Compara: ¿qué fluido tiene mayor V y menor tiempo?

En este apartado realice su diagrama de flujo según ejemplo adjunto, describiendo la metodología utilizada para esta experimentación:

inicio
↓
Rotular 2 probeta
↓
Marcar la altura inicial en ambas probetas
↓
Repetir el procedimiento 3 veces
calcular velocidad de caída : $v = \frac{d}{t}$
calcular viscosidad aparente : $\eta = \frac{2r^2(\rho_s - \rho_f)g}{9v_t}$

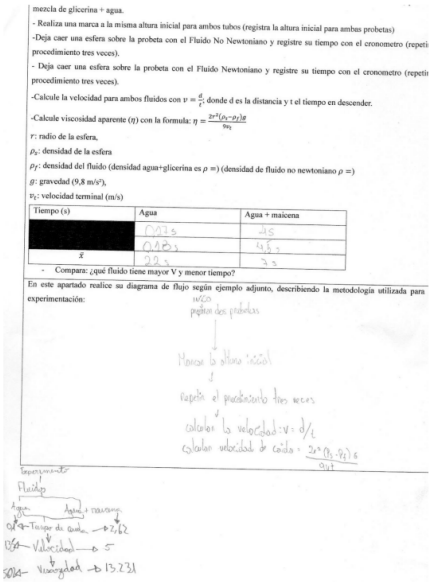
FIGURA 1. Extracto protocolo estudiante E.

Respecto del Manejo de la planificación y validación del proceso experimental. El estudiante D construye diagramas

de flujo completos siguiendo los pasos lógicos (ver figura 1).

Para el alto rendimiento de este criterio se consideró el paso de "Repetir el procedimiento 3 veces". Esto demuestra una planificación metódica y la comprensión de la necesidad de validar el proceso. Para el bajo rendimiento se consideró el diagrama simplificado que omite el paso de la repetición. Refleja que la necesidad de rigor no fue considerada desde la etapa de planificación. A través de los procesos de modelado en la educación STEM, las disciplinas forjan una relación sinérgica, que a menudo requiere que el aprendiz transite entre las áreas de aprendizaje mientras participa en actividades científicas, matemáticas y tecnológicas/ingenieriles, lo que a menudo las vuelve interdependientes y, por lo tanto, facilita resultados creativos e innovadores [7, pág. 2].

Respecto del Manejo del rigor empírico; registro y recolección de datos se espera que el Estudiante: Anota tiempos, repite mediciones, calcula promedios. El estudiante F demuestra un Nivel Alto de este aspecto (Ver figura 2).


mezcla de glicerina + agua.
- Realiza una marca a la misma altura inicial para ambos tubos (registra la altura inicial para ambas probetas)
-Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido No Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repeti
procedimiento tres veces).
- Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repetir
procedimiento tres veces).
-Calcule la velocidad para ambos fluidos con $v = \frac{d}{t}$; donde d es la distancia y t el tiempo en descender.
-Calcule viscosidad aparente (η) con la formula: $\eta = \frac{2r^2(\rho_s - \rho_f)g}{9v_t}$
r: radio de la esfera,
ρ_s: densidad de la esfera
ρ_f: densidad del fluido (densidad agua+glicerina es ρ =) (densidad de fluido no newtoniano ρ =)
g: gravedad (9,8 m/s²),
v_t: velocidad terminal (m/s)

Tiempo (s)	Agua	Agua + maicena
[redacted]	0,28	3,5
	0,23	4,3
$\bar{x}$	0,23	3,9

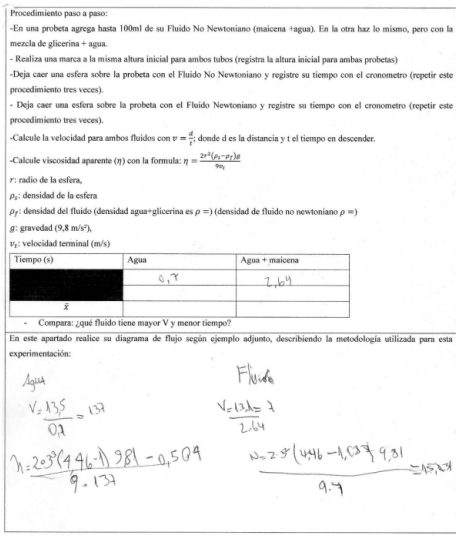
- Compara: ¿qué fluido tiene mayor V y menor tiempo?

En este apartado realice su diagrama de flujo según ejemplo adjunto, describiendo la metodología utilizada para esta experimentación:

FIGURA 2. Extracto del protocolo del estudiante F.

Para el alto nivel cualitativo se consideró la tabla de datos que muestra 3 tiempos y el cálculo del promedio para ambos fluidos. Esta es la máxima expresión del rigor empírico. Para el bajo rendimiento se consideró la tabla de datos donde solo se registra un tiempo (ej. 0.1s para el agua). Esto evidencia una debilidad crítica en la habilidad de recolección, comprometiendo la fiabilidad de los resultados. Tang [16] sugiere "la importancia del conocimiento del contenido y el desarrollo de las habilidades de los estudiantes para acceder a este repertorio de conocimientos" [16, pág. 1466].

Respecto de Cálculos explícitos y análisis de datos; se puede indicar que al solicitar calcular la velocidad y viscosidad aparente, el Estudiante G muestra un nivel de desempeño alto (ver figura 3).


Procedimiento paso a paso:
-En una probeta agrega hasta 100ml de su Fluido No Newtoniano (maicena +agua). En la otra haz lo mismo, pero con la mezcla de glicerina + agua.
- Realiza una marca a la misma altura inicial para ambos tubos (registra la altura inicial para ambas probetas)
-Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido No Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repetir este procedimiento tres veces).
- Deja caer una esfera sobre la probeta con el Fluido Newtoniano y registre su tiempo con el cronometro (repetir este procedimiento tres veces).
-Calcule la velocidad para ambos fluidos con $v = \frac{d}{t}$; donde d es la distancia y t el tiempo en descender.
-Calcule viscosidad aparente (η) con la formula: $\eta = \frac{2r^2(\rho_s - \rho_f)g}{9v_t}$
r: radio de la esfera,
ρ_s: densidad de la esfera
ρ_f: densidad del fluido (densidad agua+glicerina es ρ =) (densidad de fluido no newtoniano ρ =)
g: gravedad (9,8 m/s²),
v_t: velocidad terminal (m/s)

Tiempo (s)	Agua	Agua + maicena
[redacted]	0,7	2,64
$\bar{x}$		

- Compara: ¿qué fluido tiene mayor V y menor tiempo?

En este apartado realice su diagrama de flujo según ejemplo adjunto, describiendo la metodología utilizada para esta experimentación:

FIGURA 3. Extracto del protocolo del estudiante G.

En la sesión 2 del cuaderno entregado a los estudiantes para su investigación, en el procedimiento paso a paso se les pide calcular la velocidad para ambos fluidos y la viscosidad aparente de ambos con datos ya establecidos en el instrumento como el radio de la esfera, la densidad de los fluidos, el radio de la esfera, etc. Para interpretar las respuestas de los estudiantes como nivel cualitativo alto se consideró la sección de cálculos explícitos que muestra la aplicación correcta de las fórmulas y la fórmula de viscosidad. Demuestra que la habilidad matemática y de procesamiento fue satisfactoria. En cuanto al nivel cualitativo bajo La tendencia general del grupo fue el acierto en la aplicación de fórmulas, independientemente de la calidad de los datos. La debilidad de análisis no es la aplicación, sino la inferencia, si la hubiese.

Finalmente, respecto de la implementación de una secuencia didáctica basada en la indagación, esta favoreció el desarrollo de la comprensión conceptual y de habilidades científicas relacionadas con los fluidos no newtonianos en estudiantes de tercero y cuarto medio.

Otro aspecto es el análisis del desarrollo de la comprensión conceptual; en este caso se evidenció una disociación entre la comprensión del fenómeno y la asimilación de la terminología formal.

Se observó un alto nivel de acierto en las preguntas que evaluaban el principio de la fuerza de cizallamiento (P5: ¿Por qué un fluido no newtoniano se dice que "no sigue las leyes de Newton"?) y la viscosidad (P3: La viscosidad es la resistencia de un líquido al movimiento. V/F). Estudiantes como "Estudiante A" demuestran que, aunque fallan en la etiqueta formal, sí comprenden que la respuesta del fluido no newtoniano no es lineal a la fuerza aplicada.

Los conceptos de fluido (P1: ¿Qué es un fluido?) y Viscosidad (P3) están mayormente internalizados, lo que proporciona una base sólida para el tema central.

La secuencia fue limitada para asentar la diferenciación formal (P2: "¿Qué afirmación describe mejor a un fluido

Newtoniano? y P4: "¿Qué es un fluido no Newtoniano?"). La tendencia a describir un fluido Newtoniano (P2) con la característica del no Newtoniano (viscosidad que cambia al agitar, respuesta 'b') como el estudiante A indica que la distinción terminológica clave no fue consolidada.

Para la comprensión conceptual, la secuencia didáctica favoreció parcialmente la comprensión conceptual. Fue efectiva para que los estudiantes comprendieran el comportamiento reológico del fenómeno (la no-linealidad), pero fue insuficiente para asentar la definición teórica formal de los fluidos.

En cuanto al análisis del Desarrollo de Habilidades Científicas, El hallazgo aquí es la disociación entre el rigor empírico y la capacidad de análisis matemático.

La habilidad para aplicar la matemática (modelado) es fuerte. Estudiantes como E y G demuestran una aplicación correcta de las fórmulas de velocidad y viscosidad aparente, logrando un resultado cuantitativo a partir de sus mediciones.

Un subgrupo de estudiantes (Estudiante D) demostró un Alto Nivel de Planificación al incluir la necesidad de repetir mediciones en su diagrama de flujo, aunque no todos lo ejecutaron.

Existe un bajo rigor empírico debido a que la mayoría de los estudiantes como el estudiante A solo registraron una medición de tiempo.

Esto sugiere que la secuencia didáctica no logró internalizar la necesidad de fiabilidad y precisión en la recolección de datos, priorizando la obtención rápida de un resultado numérico sobre el rigor del método científico.

La secuencia didáctica favoreció el desarrollo de habilidades procedimentales (cálculo y modelado matemático), pero no logró consolidar la habilidad clave de rigor empírico (necesidad de promediar mediciones para la fiabilidad de la evidencia).

La hipótesis se cumple en el sentido de que la implementación de la secuencia didáctica sí generó un desarrollo positivo en ambas variables; sin embargo, este desarrollo fue disociado e inconsistente:

TABLA 2. Perfiles cualitativos

Ítem	Perfil de logro	Relación con la hipótesis	Implicación y tensión
I	Logro total	Confirma la hipótesis (Demuestra la integración exitosa del conocimiento conceptual y el rigor metodológico.)	La secuencia sí puede ser altamente efectiva, pero solo para un subgrupo.
II	Bajo Rigor/ Alto Cálculo	Confirma Parcialmente la conclusión parcial 1 y refuta la conclusión parcial 2 (El conocimiento conceptual y el cálculo existen, pero la habilidad científica crítica (rigor en la recolección) no se logró.)	La habilidad analítica (cálculo) se desarrolla más fácilmente que el rigor empírico.
III	Rigor metodológico/ Baja comprensión	Confirma Parcialmente la conclusión parcial 2 y refuta la conclusión parcial(La habilidad de seguir un protocolo riguroso se adquiere, pero sin el respaldo conceptual necesario.)	La indagación (habilidad) puede ejecutarse sin que necesariamente se produzca la comprensión profunda (concepto).

Nota para la tabla 2: Respecto de las hipótesis iniciales, se identificaron tres perfiles cualitativos de logro que tipifican el desempeño del estudiantado: Logro Total (confirmación plena de la hipótesis), Bajo Rigor/Alto Cálculo (confirmación parcial) y Rigor Metodológico/Baja Comprensión.

La implementación de la secuencia didáctica favoreció el desarrollo de la comprensión conceptual del fenómeno reológico y de las habilidades de análisis de datos, tal como propone la hipótesis. No obstante, el desarrollo fue incompleto, presentando dos debilidades persistentes: la confusión en la terminología formal y, lo que es más crítico, el bajo rigor empírico en la toma de datos, lo cual sugiere que la indagación, si bien activa, no logró permear la necesidad de fiabilidad de la evidencia en la mayoría de los estudiantes.

V. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan una tendencia consistente con las dificultades señaladas por diversos autores respecto al aprendizaje de conceptos físicos y la realización de investigación científica escolar. En primer lugar, la disociación entre la comprensión fenomenológica del comportamiento no lineal de los fluidos no newtonianos y la asimilación de las definiciones formales coincide directamente con lo planteado por [8], quien advierte que el estudiantado suele describir

correctamente un fenómeno sin comprender plenamente el concepto disciplinar que lo sustenta. Esto se evidenció en la distinción entre fluidos newtonianos y no newtonianos, donde los estudiantes lograron reconocer el comportamiento observable (como la respuesta no lineal a la fuerza aplicada), pero persistió la confusión terminológica, especialmente sobre la viscosidad constante versus variable.

Asimismo, la comprensión general de conceptos básicos como "fluido" y "viscosidad" fue sólida, lo cual coincide con la idea de [10] respecto a que ciertos conceptos estructurantes son esenciales para avanzar hacia comprensiones más profundas. Sin embargo, la persistencia de ideas alternativas sugiere que la secuencia didáctica, aunque efectiva en la observación, requiere una fase más robusta de explicitación conceptual, tal como recomiendan paradigmas constructivistas.

Por otra parte, la alta capacidad de cálculo observada en varios estudiantes confirma el análisis de [22], quienes señalan que la matematización excesiva de la física puede llevar a estudiantes capaces de ejecutar fórmulas sin necesariamente comprender el trasfondo conceptual. Esto se vio reflejado en que, aun cuando la mayoría aplicó correctamente las fórmulas de velocidad y viscosidad aparente, no todos lograron vincular estos resultados con una interpretación científica del fenómeno.

En relación con las dificultades para trasladar el conocimiento científico al diseño experimental, los hallazgos coinciden con lo señalado por [15]. El estudiantado suele tener problemas para vincular sus decisiones metodológicas con la teoría científica. Si bien algunos estudiantes demostraron planificación rigurosa (incluyendo la repetición de mediciones), la mayoría priorizó obtener un valor numérico por sobre garantizar fiabilidad empírica. Esto refuerza la idea de que la indagación no garantiza automáticamente el rigor, sino que requiere una guía explícita que destaque la importancia de la validez de los datos.

La tendencia a registrar solo una medición también confirma lo planteado por [23], quien sostiene que el aprendizaje significativo requiere no solo conocer la teoría, sino analizarla profundamente para aplicarla correctamente a problemas reales. En esta investigación, la falta de repetición de mediciones sugiere que los estudiantes no lograron transferir el principio de fiabilidad científica al contexto del experimento.

Por otro lado, la motivación observada en ciertos grupos, especialmente en quienes lograron integrar teoría y práctica, se relaciona con lo planteado por [24] respecto al rol de la motivación y la percepción positiva del aprendizaje científico. También coincide con lo descrito por [11], quienes afirman que cuando los estudiantes perciben relevancia en las actividades, aumenta su actitud positiva hacia la ciencia, lo cual se evidenció en el interés por manipular materiales como Oobleck y observar fenómenos inusuales.

Finalmente, la existencia de estudiantes que alcanzaron un dominio simultáneo de la comprensión conceptual y el rigor metodológico sugiere que la indagación es una estrategia pedagógica viable, en consonancia con autores como [9], quienes recomiendan priorizar la comprensión de conceptos fundamentales mediante experiencias auténticas de investigación. Sin embargo, los perfiles de logro diferenciados evidencian que su efectividad está mediada por variables como la motivación, el capital científico previo y la claridad de las fases de explicitación conceptual.

En síntesis, los resultados de esta investigación confirman varias de las dificultades teóricas señaladas por la literatura: la brecha entre lenguaje cotidiano y técnico [8], la matematización sin comprensión profunda [22], la desconexión entre diseño experimental y teoría [15], y la necesidad de reforzar la conceptualización explícita [10]. A la vez, se observaron fortalezas coherentes con modelos de indagación, especialmente en la comprensión fenomenológica y en el cálculo matemático. Esta mezcla de avances y limitaciones demuestra que la Secuencia Didáctica basada en Indagación es pertinente, pero debe ser ajustada para fortalecer el rigor empírico y consolidar la distinción formal entre los tipos de fluidos.

VI. Conclusiones

Se concluye en base a la hipótesis de trabajo "La implementación de una secuencia didáctica basada en la indagación favorecerá el desarrollo de la comprensión conceptual y de habilidades científicas relacionadas con los fluidos no newtonianos en estudiantes de tercero y cuarto medio." Se favoreció parcialmente debido al desarrollo no uniforme e inconsistente por parte de los estudiantes en las preguntas de selección múltiple y experimentación. En cuanto a la efectividad de la secuencia se manifestó en la creación de tres perfiles de logro cualitativos distintos, aun así, el éxito total se evidenció solo en el perfil cualitativo I, mientras que en los perfiles II y III correspondientes al rigor experimental y rigor metodológico la mayoría de los estudiantes experimentó un desarrollo desequilibrado. En cuanto a la comprensión conceptual de los estudiantes, la secuencia fue efectiva para que los estudiantes comprendieran el comportamiento fenomenológico de los fluidos, validando el potencial de la indagación para la observación experimental, por otra parte la principal limitación de la secuencia para el completo desarrollo de la comprensión conceptual es la persistencia en cuanto a las respuestas por parte de los estudiantes en cuanto a la confusión conceptual en las definiciones formales al comparar por ejemplo las preguntas P2 Y P4, esto debido a que la opción que se esperaba es que la viscosidad del fluido depende de la presión y la temperatura pero no de la fuerza aplicada, pero el error común fue asumir que la viscosidad del fluido cambia cuando se agita o se aplica fuerza, esto debido a que la última opción fue un distractor para los estudiantes porque es la definición correcta del otro fluido (no Newtoniano). Esta confusión masiva puede indicar que la diferencia conceptual entre "viscosidad constante" y "viscosidad variable" no fue internalizada de manera formal, pese a que el estudiante observó el fenómeno. Por lo tanto, la experiencia práctica no fue

suficiente para erradicar las ideas alternativas sobre la terminología.

En cuanto al desarrollo de las habilidades científicas se evidencia un desarrollo positivo en la habilidad de análisis de datos, debido a que la mayoría de los estudiantes mostró un alto nivel de competencia matemática al aplicar correctamente las fórmulas de velocidad y viscosidad aparente, en cuanto a la debilidad del desarrollo de habilidades científicas se concluye que el rigor empírico (recolección de datos) es la habilidad menos desarrollada, esto debido a la tendencia del grupo de registrar una sola medición (esto se evidencia en el perfil II), esto sugiere la posibilidad de que los estudiantes no tengan internalizado la necesidad de fiabilidad y precisión como un componente esencial del método científico.

En cuanto a los aportes metodológicos de la investigación, es la caracterización de los perfiles de logro detallados en el apartado de conclusión de la hipótesis. Esto constituye una herramienta diagnóstica que demuestra el impacto de la indagación y ayuda a identificar donde residen las fallas en el aprendizaje. Se valida la viabilidad y la pertinencia de abordar contenidos de reología a través de indagación en la asignatura de Ciencias para la C iudadanía. Se propone fomentar del rigor empírico, esto debido a que se debería integrar una fase de autoevaluación posterior a la recolección de datos para permitir a los estudiantes justificar explícitamente por qué la repetición de la medición es necesaria y cómo el promedio aumenta la fiabilidad del resultado, antes de pasar al cálculo, por lo cual el perfil II, correspondiente a actividades experimentales, debe ser enfocado de manera metacognitiva y no solo procedimental.

Se sugiere fortalecer la integración concepto-practica, donde el estudiante deba utilizar el dato experimental para explicar el concepto formal, cerrando la brecha entre la experiencia y la metodología, esto permitirá asegurar que la puesta en común no solo sea descriptiva, sino explicativa a través de un lenguaje científico formal.

Para futuras investigaciones se podría investigar si el bajo rigor empírico observado es un rasgo estable o si se corrige mediante la práctica sostenida en el tiempo aplicando la secuencia o adaptaciones de la secuencia de forma recurrente en el tiempo. Otra sugerencia para futuras investigaciones de este instrumento se podría realizar un estudio de correlaciones entre alguno de los perfiles cualitativos con variables de entrada del estudiante como la motivación, rendimiento matemático o estilos de aprendizaje. Esto permitirá entender que factores permiten que algunos estudiantes logren una integración total de la teoría y la práctica.

La investigación cuenta con la aprobación del Comité Ético Científico de la Universidad del Bío-Bío (Registro 95, año 2025, Informe NºA0128).

REFERENCIAS

[1] Kumar, A., Ridha, S., Narahari, M., & Umer Ilyas, S., *Physics-guided deep neural network to characterize non-Newtonian fluid flow for optimal use of energy resources*, Expert System with Applications, 138 (2021). doi:https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115409

[2] Kontogiannis, A., Hodgkinson, R., Reynolds, S., & Manchester, E., *Learning rheological parameters of non-Newtonian fluids from velocimetry data*, Journal of Fluid Mechanics 1011, 1-13 (2025). doi:10.1017/jfm.2025.92

[3] Drikakis, D., & Sofos, F., *Can Artificial Intelligence Accelerate Fluid Mechanics Research*, Fluids **8** 7, 1-16 (2023). doi:https://doi.org/10.3390/fluids8070212

[4] Mustafa, A., Haider, D., Barua, A., & Tanyeri, M., *Machine learning based microfluidic sensing*, Sensors & Diagnostics **2**, 1509-1520 (2023). doi:10.1039/d3sd00099k

[5] Gurt, A., & Khonsari, M., Review of the Rheological. Lubricants **12** 7, 1-26 (2024). doi:https://doi.org/10.3390/lubricants12070236

[6] Ministerio de Educación, *Programa de Estudio Primero Medio*, Santiago: Unidad de Currículum y Evaluación, (2016). Obtenido de https://www.curriculumnacional.cl/sites/default/files/newtenberg/614/articles-34456_programa.pdf

[7] Hallström, J., Norström, P., & Schönborn, K. J., *Authentic STEM education through modelling: An international Delphi study*, International Journal of STEM Education **10** 62, 1-16 (2023). doi:https://doi.org/10.1186/s40594-023-00453-4

[8] Young, T. G.-C., *Students' use of symmetry as a tool for sensemaking*, 403-408 (2023). doi:10.1119/perc.2023.pr.Young

[9] Sánchez, I. R., Herrera, E., & Rodríguez, C., *Eficacia de resolución colaborativa de problemas en el desarrollo de habilidades cognitivo lingüísticas y en el rendimiento académico en física*, **13** 6, 191-204 (2020). doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000600191

[10] Moreira, M., *Desafios no ensino da física*, Artigos Gerais, **43** 1, 1-8 (2020). doi:https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451.

[11] Hill, J., Driel, J., Tiong, W., & Kern, M., *Students' values in science education: a scoping review*, Studies In Science Education **61** 2, 275-327 (2024). doi:https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2412456

[12] Ekatushabe, M., Kwarikunda, D., Muwonge, C., & Ssenyonga, J., *Relations between perceived teacher's*, 1-15 (2021). doi:10.1186/s40594-021-00272-5

[13] Seland, T., Henriksen, E., & Jegstad, K., *Inquiry-based science education in science teacher education:a systematic review*, Studies in Science Education **60** 2, 191-249 (2024). doi:https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148

[14] Irgens, F., *Rheology and Non-Newtonian Fluids*, (Springer, New York, 2014).

[15] Subramaniam, R. C., Bralin, A., Morphew, J., Rebello, C., & Rebello, N., *Characterizing the 'design-science gap' in an engineering design-based laboratory unit* in an, American Association of Physics Teachers, 1-6 (2023). doi:https://par.nsf.gov/servlets/purl/10465936

[16] Tang, X., Tan, L., Sadler,T., Kong, Y., & Lin, J., *When structure and content of socioscientific argumentation develop in an unbalanced way: A case study*, Science

Education **109** 5, 1464-1483 (2025). doi:https://doi.org/10.1002/sce.21975

[17] Ministerio de Educación, *Programa de estudio Ciencias para la Ciudadanía: 3° y 4° medio*, Currículum Nacional, (2020), https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-140116_programa.pdf

[18] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., *Metodología de la investigación*, (McGraw-Hill, 6ª. Edición, 2014).

[19] Human, A., Treviños, L., & Medina, W., *Epistemologia de las investigaciones cuantitativas y cualitativas*, Horizonte de la Ciencia **12** 23, 27-47 (2021). doi:https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/horizontedelaciencia/article/view/1462/1662

[20] Estrada, C., *Manual Operativo de Metodología Cuantitativa*, FONAD, 1-76 (2005). Obtenido de https://es.scribd.com/document/367108303/Manual-Operativo-Cuantitativo-corregido

[21] Serway, A., & Jewett, Jr., *Física para ciencias e ingeniería Vol. 1*, Santa Fe: (Cengage learning, Santa Fe, 2008).

[22] Alcívar-Zambrano, E., & I., G.-M., *Estrategias Metodológicas de enseñanza aprendizaje para motivar el interés de los estudiantes en la asignatura de Física en la unidad educativa Membrillo*, Polo del conocimiento **7** 11, 1592-1614 (2022). doi:10.23857/pc.v7i8.

[23] Castiñeira-Ibáñeza, S., & Tarrazó-Serrano, D. U., *ODS y Física de la mano*, VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en red, 662-673 (2022). Valencia: IN-RED2022. Obtenido de https://ocs.editorial.upv.es/index.php/INRED/InRed2022/paper/viewFile/15909/7471

[24] Daungcharone, K., Thanyaphongphat, J., Thongkoo, K., & Panjaburee, P., *Evaluating Learning Motivation and Achievement in Ubiquitous*, 66-72 (2023). Tokyo: ACM. doi: https://doi.org/10.1145/3637989.3638001