



Recibido 12/04/2025
Aceptado 07/10/2025

EVALUACIÓN DE UNA NUEVA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA HIDRÁULICA BÁSICA

EVALUATION OF A NEW DIDACTIC PROPOSAL FOR BASIC HYDRAULICS

Edmundo Pedroza-González^{1*}, Julio Sergio Santana Sepúlveda¹, Emilio García Díaz¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Morelos, México
Correo de autor de correspondencia: epedroza@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

En este artículo se presenta la evaluación de una propuesta alterna para la enseñanza de la hidráulica básica basada en tres estrategias didácticas: el aprendizaje significativo, la transposición didáctica y la historia. Inicialmente se diseñó un cuestionario relacionado con los contenidos disciplinares considerados en la propuesta y, en un primer momento, dicho cuestionario se aplicó a estudiantes de seis grupos de diferentes escuelas. Posteriormente se impartieron las clases a tres grupos, denominados "grupos de referencia", usando la didáctica tradicional. Con los otros tres grupos, reconocidos como "grupos experimentales" se utilizó la nueva didáctica. En un segundo momento, al terminar las clases, se aplicó el mismo cuestionario a todos los estudiantes. Los resultados de las calificaciones se analizaron mediante el promedio simple y mediante la herramienta ANOVA. También se realizó una encuesta sobre la opinión de los profesores. Los promedios simples entre los grupos de control fueron ligeramente superiores. Al ser pequeña la diferencia, podría confundirse el efecto real del experimento con la magnitud de errores aleatorios del análisis. Mediante el ANOVA, se eliminó la incertidumbre, quedando claro que la nueva didáctica sí influyó en los resultados. Adicionalmente, la opinión de los profesores fue definitivamente positiva.

PALABRAS CLAVE

Hidráulica básica, estrategias didácticas, ANOVA.

ABSTRACT

This article presents the evaluation of an alternative approach to teaching basic hydraulics based on three teaching strategies: meaningful learning, didactic transposition, and the history. Initially, a questionnaire related to the disciplinary content considered in the proposal was designed and initially administered to students in six groups from different schools. Classes were subsequently taught to three groups, referred to as "reference groups," using traditional teaching methods. The new teaching methods were used for the other three groups, referred to as "experimental groups." The same questionnaire was administered to all students at the end of the classes. Grade results were analyzed using simple averages and ANOVA. A survey of teacher opinions was also conducted. The simple averages among the control groups were slightly higher. The small differences could confuse the true effect of the experiment with the magnitude of random errors in the analysis. Using ANOVA, uncertainty was eliminated, making it clear that the new teaching method did influence the results. Additionally, the teachers' feedback was overwhelmingly positive.

KEYWORDS

Basic hydraulics, teaching strategies, ANOVA.

INTRODUCCIÓN

A partir de algunos inconvenientes relacionados con el aprendizaje de la hidráulica básica entre estudiantes de ingeniería civil, se propuso una manera alterna para enseñar dicha materia. La propuesta incluye innovaciones basadas en estrategias didácticas, como el aprendizaje significativo y la transposición didáctica. Asimismo, se utilizan aspectos históricos relacionados con el desarrollo mismo de las ecuaciones y con anécdotas interesantes de los hombres y las circunstancias relacionadas con las ecuaciones. La propuesta se concretó en un libro de texto [1].

1.1 EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

El aprendizaje significativo es una propuesta de David Ausubel [2] con una base simple: los nuevos conocimientos se basan en los ya adquiridos. En la enseñanza de la hidráulica, por ejemplo, para comprender la ecuación fundamental de la hidrostática se requiere tener conocimientos previos, tales como presión, fuerza, gravedad, o bien el conocimiento de lo que es un puente de hidrógeno. Estos conocimientos se pueden acomodar en bloques, de tal manera que los bloques de abajo "soporten" a los de arriba (Figura 1).

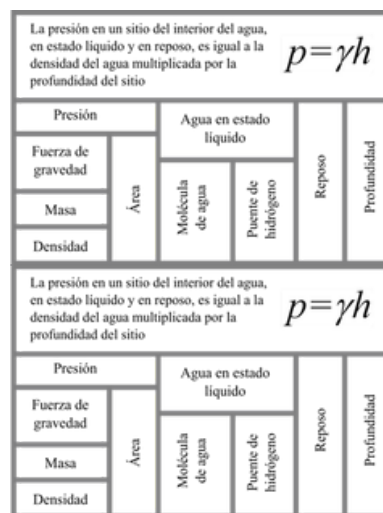


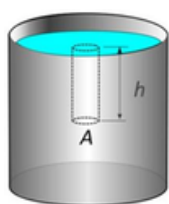
Figura 1. Estructura cognitiva de la ecuación fundamental de la hidrostática.



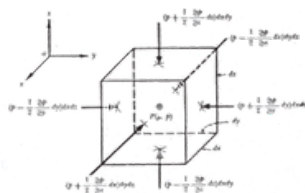


1.2 TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

En palabras de Chevallard [3]: “un contenido del saber sabio que haya sido designado como saber a enseñar, sufre un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para tomar lugar entre los objetos de enseñanza. El ‘trabajo’ realizado en un objeto de saber sabio para transformarlo en un objeto de enseñanza se llama transposición didáctica”. En la nueva propuesta, la transposición didáctica se concreta mediante la deducción simplificada de las ecuaciones principales. Dicha simplicidad se logra sin menoscabo del rigor matemático o físico. Por ejemplo, la deducción simplificada de la ecuación fundamental de la hidrostática parte de la imagen de la Figura 2a. Nótese la simplicidad comparada con la Figura 2b.



(a) Deducción simplificada [4]



(b) Deducción de Sotelo [5]

Figura 2. Apoyos gráficos para deducción de la ecuación fundamental de la hidrostática.

1.3 LA HISTORIA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA

El uso de la historia como estrategia didáctica se ha propuesto por varios autores [6], [7]. Con base en estas recomendaciones se recopiló diversas anécdotas históricas relacionadas con las cuatro ecuaciones principales de la hidráulica.

METODOLOGÍA

La aplicación y evaluación de la propuesta se realizó a través de los momentos sustantivos que enseguida se enlistan.

- Diseño de un cuestionario
- Primera aplicación del cuestionario
- Impartición de clases de manera tradicional y con la nueva propuesta
- Segunda aplicación del mismo cuestionario
- Entrevista a profesores

2.1 DISEÑO DE CUESTIONARIO

Se diseñó un cuestionario mediante el cual se inspeccionan conocimientos previos que el alumno debiera tener antes de iniciar el curso de hidráulica, sobre todo contenidos de física y de conocimientos relacionados con las ecuaciones principales de la hidráulica [8].

2.2 PRIMERA APLICACIÓN DEL CUESTIONARIO

Antes de iniciar las clases de hidráulica básica, se aplicó el cuestionario a seis grupos de estudiantes de diversas escuelas. Las instituciones participantes fueron el Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la Universidad Autónoma de Zacatecas y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Las tres primeras instituciones participaron con un grupo cada una, mientras que la Universidad Michoacana participó con tres grupos. Cabe destacar que se invitó a 20 profesores y el número de grupos fue función de las respuestas positivas por parte de los profesores que atendieron la invitación. No hubo intención en el número de grupos por institución.

2.3 IMPARTICIÓN DE CLASES DE MANERA TRADICIONAL Y CON LA NUEVA PROPUESTA

A tres de los grupos de estudiantes participantes se les impartió la clase de manera tradicional. A estos grupos se les reconoció como “grupos de referencia”. A los otros tres grupos se les impartió la clase utilizando la nueva propuesta, a este segundo conjunto se les llamó “grupos experimentales”.

2.4 SEGUNDA APLICACIÓN DEL MISMO CUESTIONARIO

Al terminar de ver el tema de ecuaciones básicas, tanto en grupos de referencia como en grupos experimentales, se aplicó el mismo cuestionario inicial.

2.5 ENTREVISTA A PROFESORES

Para apoyar la bondad o desventaja de la nueva propuesta, además de los cuestionarios se realizó una entrevista a los profesores que trabajaron con grupos de control.

RESULTADOS

Primeramente se analizaron los resultados utilizando los promedios simples de las calificaciones. En este análisis se detectó una diferencia muy pequeña entre las calificaciones de los grupos de referencia y los grupos experimentales. Para revisar si los resultados eran diferentes entre los grupos debido a un efecto de la propuesta o si eran diferentes por errores aleatorios, ajenos a la aplicación de la nueva propuesta, se utilizó el ANOVA, herramienta que aclara la naturaleza de los resultados cuando estos son muy parecidos dentro de un experimento.

3.1 REVISIÓN DE RESULTADOS POR PROMEDIO

Los promedios de las calificaciones obtenidas por los alumnos de cada grupo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Conjunto de datos utilizado

Grupos	Primera aplicación del cuestionario	Segunda aplicación del cuestionario	Diferencia
Grupos de referencia (didáctica tradicional)			
A	3.76	3.26	-0.5
B	3.48	3.43	-0.05
C	3.69	4.18	0.49
Grupo experimentales (nueva propuesta)			
1	3.27	4.20	0.93
2	2.49	4.34	1.85
3	3.69	4.51	0.82

Los resultados son claramente peculiares. En primer lugar se tienen promedios reprobatorios en todos los grupos, y los grupos de referencia no solo no mejoraron, sino que bajaron su calificación, a excepción del grupo C, que sí mejoró, pero marginalmente. Ello acusa una baja comprensión de los conceptos previos para iniciar la enseñanza de la hidráulica. El promedio, en general, de los grupos experimentales es mejor por muy poco. Los profesores opinaron que las causas de tal circunstancia fueron, por una parte, la nula motivación o presión de los alumnos, ya que dichas calificaciones no tenían ningún impacto en la calificación oficial de la materia. Dicha circunstancia se hace evidente si se observa el número de alumnos en la primera aplicación del cuestionario y se compara con el número de alumnos en la segunda aplicación, como se muestra en la Tabla 2.



Tabla 2. Número de alumnos que participaron en los cuestionarios

Grupo	Número de alumnos		Deserción (%)
	Primera aplicación	Segunda aplicación	
1	35	35	0%
2	35	33	6%
3	33	12	64%
A	31	14	55%
B	28	13	54%
C	22	13	41%

Otra circunstancia que influyó en la escasa mejoría se relaciona con la manera diferente de actuar por parte de los profesores de los grupos experimentales. Por ejemplo, un profesor dejó el primer momento del cuestionario para resolver en casa y el segundo se aplicó en clase. Otro profesor dejó la lectura del material didáctico para clase y solo se leyó voluntariamente.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS POR ANOVA

La ínfima diferencia en los promedios sugiere la posibilidad de una baja o nula ventaja de la nueva didáctica, sin una diferencia estadísticamente significativa, lo cual conlleva el riesgo de que las variaciones de calificación entre los exámenes pudieran obedecer a errores aleatorios y no al efecto de la nueva didáctica. Con el fin de establecer un mayor rigor analítico se recurre a una herramienta común en la estadística avanzada: el análisis de varianza (ANOVA por su acrónimo en inglés), la cual permite detectar las diferencias entre grupos para concluir alguna resolución o emitir un juicio. El ANOVA es un análisis de las varianzas dentro de grupos, comparadas con las varianzas entre grupos. Al realizar esta comparación se puede determinar si las diferencias de las medias dentro los grupos son estadísticamente significativas o no. En caso de que lo sean, se considera que las diferencias entre los grupos no dependen del azar, y que hay afectación sobre la variable independiente que provoca dicha diferencia. Si no lo son, se puede concluir que las diferencias entre los grupos se deben a cuestiones aleatorias y que los efectos externos no afectan a la variable independiente o cuantitativa. La gráfica de la Figura 3 es ilustrativa de la esencia del ANOVA.

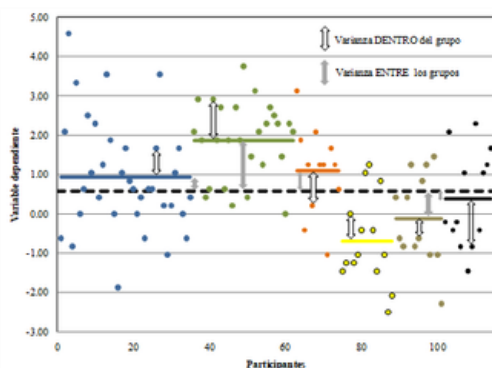


Figura 3. Varianza dentro de un grupo y varianza entre los grupos

Para este caso, se planteará la hipótesis nula y la hipótesis alterna, de la misma manera que se plantean comúnmente, es decir:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ $H_1: \text{Al menos dos medias no son iguales}$	(1)
--	-----

En la hipótesis nula H_0 se supone que las medias de cada grupo son iguales. En la hipótesis alterna H_1 se supone que al menos dos de dichas medias no son iguales. Cada hipótesis tiene su significado: si la hipótesis nula resulta verdadera, quiere decir que aquellos grupos a los que se les impartió la clase con la nueva didáctica no experimentaron ningún cambio con respecto a los grupos a los que se les impartió la clase de manera tradicional y que las diferencias se deben a errores aleatorios.

Primeramente se acomodan las observaciones de cada muestra por columnas. En este caso, las muestras son los grupos que respondieron el cuestionario en una primera y en una segunda aplicación. Los datos son las diferencias de calificación de cada alumno entre la primera y la segunda aplicación. Asimismo, se aclara que se desecharon y acomodaron los espacios vacíos correspondientes a los alumnos que ya no se presentaron a la segunda aplicación del cuestionario. Posteriormente se utilizó la tabla ANOVA (Tabla 3).

Tabla 3. Número de alumnos que participaron en los cuestionarios

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados de medias	f calculado
Tratamientos	$SSA = \sum_k C_k^2 - \frac{(\sum x_i^2)}{n}$	c-1	$s_i^2 = \frac{SSA}{c-1}$	$\frac{s_i^2}{s^2}$
Error	$SSE = \sum x_i^2 - \sum_k C_k^2$	n-c	$s^2 = \frac{SSE}{n-c}$	

Donde:

C = suma de datos por columna

i = contador correspondiente al orden de cada columna (1ª columna i=1; 2ª columna i=2; etc.)

c = número de columnas

n = número de datos

k = número de datos en cada columna

= suma de todos los datos

Realizando los cálculos se encontraron los datos siguientes (Tabla 4):

Tabla 4. Resultados del ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados de medias	f calculado
Tratamientos	SSA = 78.29	5	15.65	10.69
Error	SSE = 156.63	107	1.46	

El valor de f calculado es 10.69. Ahora bien, para un nivel de significancia estadística de 0.05, la curva de distribución F, para los grados de libertad señalados en la Tabla 4, arroja un valor crítico de 2.3. El valor de f calculado es varias veces mayor que dicho valor crítico, con un p-value de 2.39×10^{-6} ; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que la varianza entre los grupos es diferente de la varianza dentro de los grupos. Resulta válido afirmar que el hecho de haber impartido la clase a los alumnos de los grupos experimentales, utilizando la nueva propuesta, sí tuvo efecto, mostrándose en las calificaciones más altas que las calificaciones de los estudiantes de los grupos de referencia.

3.3 ENTREVISTA A PROFESORES COLABORADORES

Para contar con otro elemento de campo para la evaluación de la nueva propuesta se realizó una encuesta a los tres profesores de los grupos de control (Tabla 5).



Tabla 5. Opiniones de tres profesores colaboradores

Aspectos de la propuesta	Opiniones (resumidas)
Claridad de los contenidos	Muy claros/ claros/ muy claros
Cobertura del programa de la materia	Total/falta bombeo y canales/total
Explicaciones de los conceptos	Muy claras y sencillas/muy claras y sencillas/ claras pero extensas, propician la divagación
Conveniencia didáctica de la parte histórica	Es interesante y muy útil/ útil a secas/interesante pero distrae
Rigor matemático y físico de las deducciones	Adecuado/suficiente/adecuado
Complejidad de las deducciones	No son complejas/ no son complejas/ no son complejas
Adecuación de las deducciones para los objetivos de la materia	Muy adecuadas/ suficientemente adecuadas/ muy adecuadas.
Utilidad de la propuesta en general	Muy útil/muy útil/necesaria
Comentario general sobre la propuesta	Muy buena propuesta/excelente intención/definiciones agradables

En las celdas donde se muestran las opiniones, se separa mediante diagonales la opinión de cada profesor para cada aspecto de la propuesta. La evaluación general de los profesores se puede cuantificar de la manera siguiente: se multiplican las tres opiniones por cada aspecto, lo cual arroja 27 opiniones, de las cuales únicamente tres no son definitivamente positivas. Expresado en porcentaje, se puede decir que en un 89 % la evaluación de la propuesta de la nueva didáctica es favorable. Este resultado es importante porque proviene de autoridades en la materia, como lo son los profesores de la asignatura con amplia experiencia docente.

CONCLUSIONES

Se demostró, mediante tres revisiones, que la propuesta alterna es adecuada para mejorar la enseñanza la hidráulica básica. Se recomienda a los profesores utilizar la propuesta haciendo uso de la libertad de cátedra, entendida como la facultad de enseñar de manera diferente los contenidos curriculares, pero respetando su planteamiento oficial en los planes de estudio. Se recomienda igualmente seguir generando nuevas propuestas didácticas para la enseñanza de los contenidos curriculares de los temas hidráulicos de conductos presurizados y escurrimiento a superficie libre.

REFERENCIAS

- [1] E. Pedroza González, Hidráulica básica: historia, conceptos previos y ecuaciones. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2018.
- [2] S. Aparecido Dos Santos, "La Enseñanza de ciencias con un enfoque integrador a través de actividades colaborativas, bajo el prisma de la teoría del aprendizaje significativo con el uso de mapas conceptuales y diagramas para actividades demostrativo-interactivas ADI", Tesis doctoral, Universidad de Burgos, Burgos, 2008.
- [3] Y. Chevallard. La transposición didáctica, del saber sabio al saber enseñado. Argentina: Editorial Aique. 1998.
- [4] M. Kay, Practical Hydraulics. England: Taylor and Francis, 2008.
- [5] G. Sotelo Ávila, Hidráulica General Volumen 1 Fundamentos, México: Editorial Limusa, 1999.
- [6] D. P. Rodríguez Pineda y J González Flores, "La historia de la ciencia como herramienta para la construcción de significados en los cursos de física universitarios: un ejemplo en fuerza y movimiento," Tecné, episteme y didaxis: TED, no. 12, jul., 2002. doi: 10.17227/ted.num12-5965.

[7] J. Solbes y M. J. Traver Rives, "Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas," Enseñanza de las Ciencias, no. 12, ene., 2001. doi: 10.5565/rev/ensciencias.4020

[8] E. Pedroza-González, (2025, Abril 10) Encuesta de Hidráulica Básica para estudiantes. [En línea]. doi: 10.5281/zenodo.15191816.