



<https://doi.org/10.23925/2237-9657.2024.v13i2p048-061>

Simulación de esfuerzos internos en vigas utilizando software dinámico GeoGebra aplicado a la docencia

Simulation of internal forces in beams using dynamic GeoGebra software applied to teaching

HUMBERTO GABRIEL GALLO¹

0009-0006-2912-9707

FLORENCIA SEILER²

0009-0003-1725-8841

CARLOS GABRIEL HERRERA³

0000-0003-3292-4251

RESUMEN

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica para el estudio de esfuerzos internos en vigas simplemente apoyadas utilizando como herramienta tecnológica simulaciones en software dinámico GeoGebra. La propuesta se fundamenta en el diseño de dos applets que reproducen sendos modelos de vigas. El primero consiste en una viga simplemente apoyada con un voladizo y cargas puntuales, mientras que el segundo consiste en una viga simplemente apoyada con dos voladizos y carga uniforme. En la vista gráfica de cada uno de los applets se pueden visualizar los diagramas de esfuerzos internos para diferentes configuraciones de cargas y luces que se pueden modificar utilizando las herramientas del software. Las actividades diseñadas para alumnos permitirían visualizar las variaciones de los diagramas de esfuerzos, especialmente en tramos y apoyos, como también las relaciones matemáticas entre solicitaciones externas y diagrama de esfuerzos internos. Los alumnos que participaron de la experiencia no manifestaron dificultades para asimilar, y describir de manera cualitativa, basándose en modelos dinámicos y sus representaciones gráficas y de diagramas, las respuestas a modificaciones en su sistema de cargas y en su geometría. Evidenciaron dificultades medias para establecer relaciones cuando debían combinar aspectos cualitativos con otros de carácter cuantitativo.

Palabras-clave: vigas; esfuerzos internos; GeoGebra.

¹ Universidad Nacional de Catamarca – Argentina – hgg252002@yahoo.com.ar

² Universidad Nacional de Catamarca – Argentina – florenciaseiler14@hotmail.com

³ Universidad Nacional de Catamarca - Argentina – cgherrera@tecnounca.edu.ar

RESUMO

Neste trabalho, é apresentada uma proposta didática para o estudo de esforços internos em vigas simplesmente apoiadas, utilizando simulações em software dinâmico GeoGebra como ferramenta tecnológica. A proposta é fundamentada no design de dois applets que reproduzem modelos de vigas distintos. O primeiro modelo consiste em uma viga simplesmente apoiada com uma saliência e cargas pontuais, enquanto o segundo modelo consiste em uma viga simplesmente apoiada com duas saliências e carga uniforme ao longo de toda a viga. Na visualização gráfica de cada um dos applets, é possível observar os diagramas de esforços internos para diferentes configurações de cargas e vãos que podem ser modificados usando as ferramentas do software. As atividades projetadas para os alunos permitem visualizar as variações nos diagramas de esforços na viga, especialmente em trechos e apoios, bem como as relações matemáticas entre solicitações externas e diagramas de esforços internos. Os alunos que participaram da experiência não demonstraram dificuldades em assimilar e descrever qualitativamente, com base em modelos dinâmicos e suas representações gráficas e diagramáticas, as respostas de uma viga a alterações em seu sistema de cargas e geometria. Eles apresentaram dificuldades moderadas ao estabelecer relações quando precisavam combinar aspectos qualitativos com outros de natureza quantitativa.

Palavras-chave: vigas; esforços internos; GeoGebra.

ABSTRACT

In this work a didactic proposal is presented for the study of internal forces in simply supported beams using dynamic software simulations with GeoGebra as a technological tool.. The proposal is based on the design of two applets that replicate two beam models. The first model consists of a simply supported beam with a cantilever and point loads, while the second model consists of a simply supported beam with two cantilevers and a uniform load along the entire length of the beam. In the graphical view of each of the applets, internal force diagrams for different load configurations and spans can be visualized. These configurations can be modified using the software's tools. The activities designed for students would enable them to observe variations in the force diagrams along the beam, particularly at different sections and supports. Additionally, they can explore the mathematical relationships between external loads and internal force diagrams. The students who participated in the experience did not show difficulties in grasping and qualitatively describing, based on dynamic models and their graphical and diagrammatic representations, the responses of a beam to changes in its load system and geometry. They demonstrated moderate difficulties when they had to establish relationships by combining qualitative aspects with quantitative ones.

Keywords: beams, internal forces, GeoGebra.

Introducción

El primer curso de Estructuras que se dicta en el segundo año de la carrera de Arquitectura incluye como contenido el análisis de esfuerzos internos de vigas y pórticos isostáticos, para lo cual es necesario el cálculo de reacciones de apoyos para luego realizar en análisis de los esfuerzos cortante y momento flector y los diagramas respectivos para diferentes configuraciones de cargas y geometría de la viga o pórtico. Consideramos que el cálculo manual de reacciones y esfuerzos es necesario para la comprensión del concepto en estudio, proponiendo en forma complementaria la utilización de simulaciones utilizando

software dinámico GeoGebra, lo que puede constituir una herramienta para lograr aprendizajes significativos. Es importante en esta etapa del proceso que el alumno, además de los cálculos de esfuerzos internos en tramo central y voladizos de la viga, pueda realizar vinculaciones matemáticas entre cargas, diagrama de esfuerzo cortante V y momento flector M .

En este trabajo se presentan applets en software de geometría dinámica GeoGebra, que permita a los alumnos analizar los diagramas de esfuerzo cortante V y momento flector M , para vigas simplemente apoyadas con voladizos y pudiendo modificar parámetros del problema, en especial configuraciones de carga y apoyos. Se trabajó con dos modelos de vigas, uno para cargas puntuales y otro para cargas distribuidas, pudiendo asimismo modificar la magnitud de las solicitaciones como las luces de los tramos centrales de las vigas y sus respectivos voladizos aprovechando las herramientas que brinda el software. Estos modelos fueron simulados en GeoGebra, parametrizando variables que permitan visualizar a los alumnos como se modifican los esfuerzos internos para diferentes configuraciones de luces y solicitaciones.

Los objetivos perseguidos a partir de este abordaje son analizar el aporte que puede realizar el estudio dinámico e intuitivo que surge de la implementación de estos modelos en el proceso de aprendizaje de los alumnos, tanto en los aspectos referidos a la obtención de conclusiones asociadas a pautas para el diseño estructural, como la correspondiente transferencia a modelos matemáticos para el cálculo y determinación de esfuerzos internos en vigas.

Antecedentes

Si bien no se conocen trabajos que específicamente aborden el análisis de la influencia de voladizos y cargas en la determinación de esfuerzos internos en vigas a través del software dinámico Geogebra, se pueden citar trabajos que utilizan herramientas tecnológicas en el proceso de aprendizaje de conceptos vinculados a las estructuras, como por ejemplo en Ferreyra y Riberiro (2015) y Ferreyra et. al (2017) se trabaja con software dinámico GeoGebra para lograr aprendizajes significativos en equilibrio de cuerpos rígidos y vigas simplemente apoyadas respectivamente. Este trabajo simula las reacciones necesarias para mantener en equilibrio un cuerpo rígido y la determinación de los esfuerzos internos de la estructura. En Dimitrov y Savov (2018) se presentan diferentes applets utilizados para el proceso de aprendizaje de conceptos de estática, resistencia de materiales y cursos de teoría de mecanismos y máquinas mostrando la versatilidad del software, ya que el mismo permite simular problemas de diferente índole, no solo de matemáticas. Orta et al (2022) presentan software dinámico en la resolución de diferentes problemas relacionados con el aprendizaje de conceptos estructurales como ser como el análisis de

cables y arcos mediante el trazado de funiculares; análisis de reticulados con el método de Cremona; obtener gráficamente el empuje lateral del suelo sobre un muro entre otros. En este trabajo se concluye de la importancia de la utilización de software GeoGebra en el análisis de problemas estructurales, con la particularidad de que el alumno tiene la posibilidad de programar la resolución en base sobre los principales parámetros de cada problema, pudiendo fácilmente plantear diferentes alternativas y aprender interactuando con las herramientas. También se pueden citar los trabajos de Carbonel et.al. (2013) para el cálculo de momentos de inercia de secciones de vigas, Sadowskiy y Jankowski (2021) quienes estudian esfuerzos internos en barras de estructuras reticuladas y Markou y Ruan (2022) simulan en GeoGebra métodos gráficos para vigas estáticamente indeterminadas.

Existen a su vez trabajos que permiten realizar modelos con el software, por ejemplo, Aguilar (2020), presenta un trabajo para realizar diferentes modelos en el plano y en el espacio. Utiliza las ecuaciones matemáticas modelizar curvas o serie de datos. Poma Tinlaya (2018) utiliza un software MDSOLIDS como herramienta pedagógica en el estudio de esfuerzos internos de vigas en estudiantes de Ingeniería.

Metodología

En esta primera etapa de la investigación se realiza un análisis cuantitativo de respuestas de los alumnos a situaciones planteadas que implica el análisis de esfuerzos internos de vigas isostáticas para diferentes configuraciones de cargas y geometría que se modifican utilizando software dinámico GeoGebra.

El estudio es de carácter descriptivo, ya que busca especificar las propiedades de personas, grupos o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986) citado por Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista (2014). De acuerdo a la variable tiempo el estudio será de carácter transversal, porque se realizarán una sola toma de datos, durante el desarrollo de los temas específicos.

La población en estudio corresponde a alumnos del primer curso de Estructuras del cuarto semestre de carrera de Arquitectura de la Universidad Nacional de Catamarca considerándose una muestra de doce alumnos que culminaron las actividades solicitadas.

Las actividades realizadas por los alumnos corresponden a dos modelos entregados por la cátedra utilizando applets de software GeoGebra. El primer modelo consistió en una viga simplemente apoyada con un voladizo y dos cargas puntuales, mientras que el segundo modelo la viga era isostática con carga distribuida a lo largo de toda su longitud. Para cada modelo se solicitaron a los alumnos cuatro actividades que debían realizar y presentar sus resultados. En el análisis de las respuestas de alumnos se consideraron cuatro categorías: no responde, responde incorrectamente, responde en forma parcialmente correcta y respuesta correcta. La categoría respuesta parcialmente correcta implica que el alumno

puede identificar algunos aspectos significativos de la consigna solicitada, así por ejemplo en la segunda actividad correspondiente al modelo 1 se plantean geometría y cargas que en la primera configuración corresponde a una viga simplemente apoyada con carga concentrada en el centro de la luz, mientras que en la segunda configuración se adiciona un voladizo. En este caso puede distinguir la aparición de momento flector en el apoyo, sin poder identificar que el momento en el apoyo implica disminución en el momento del tramo.

Descripción de los modelos

Primer modelo

El primer modelo consiste en una viga simplemente apoyada con un voladizo y dos cargas puntuales, la primera P_1 aplicada en la luz principal de la viga y la segunda P_2 en el extremo del voladizo. La luz del tramo principal se denomina L_1 , del voladizo L_2 . La distancia de P_1 al apoyo izquierdo se denomina L_3 como se observa en la figura 1.

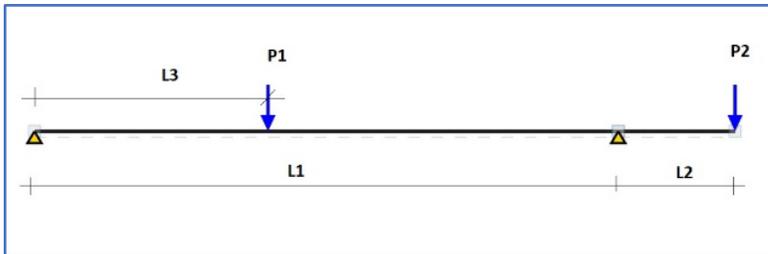


FIGURA 1: Esquema del Modelo 1. Viga con cargas puntuales y un voladizo.
FUENTE: elaboración propia

En este modelo el diagrama de esfuerzo de corte es constante y con distintos valores en los tres tramos que se puede dividir la viga: entre apoyo izquierdo y la ubicación de P_1 , entre P_1 y apoyo derecho y en el voladizo. Los diagramas de Momentos flectores son lineales.

La formulación matemática de Momentos Flectores M y esfuerzo de corte V , luego del cálculo de reacciones R_A y R_b en apoyos izquierdo y derecho respectivamente son los siguientes para los tres tramos de la viga que se visualizan en la Tabla 1.

Tabla 1: Formulación matemática del modelo 1

MODELO 1	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
----------	---------	---------	---------

Momento Flector	$M = R_A \cdot x$	$M = R_A(L_3 + x) - P_1 \cdot x$	$M = R_A(L_1 + x) + R_B \cdot x - P_1(L_1 - L_3 + x)$
Esfuerzo de Corte	$V = R_A$	$V = R_A - P_1$	$V = R_A + R_B - P_1$

Segundo modelo

El segundo modelo consiste en una viga simplemente apoyada con dos voladizos, con una carga uniformemente distribuida q a lo largo de toda la viga. Las luces se denominan L_1 y L_3 para los voladizos izquierdo y derecho respectivamente, y L_2 la luz del tramo principal. El modelo se observa en figura 2.

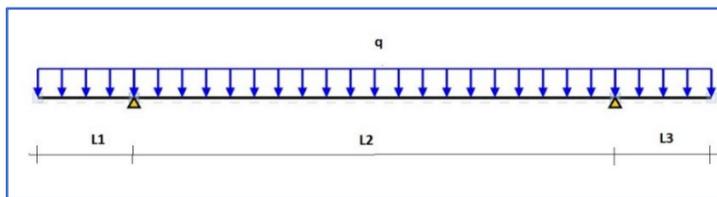


FIGURA 2: esquema del modelo 2. Viga con carga uniforme y dos voladizos

FUENTE: elaboración propia

En este modelo el diagrama del esfuerzo de corte es lineal en los tres tramos L_1 , L_2 y L_3 . mientras que el diagrama de momentos flectores es cuadrático de acuerdo con ecuaciones que se visualizan en Tabla 2.

Tabla 2: Formulación matemática del modelo 2

MODELO 2	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Momento Flector	$M = -qx^2/2$	$M = -0.5 \cdot q \cdot (L_1 + x)^2 + R_A \cdot x$	$M = -0.5 \cdot q \cdot (L_1 + L_2 + x)^2 + R_A \cdot (L_2 + x) + R_B \cdot x$
Esfuerzo de Corte	$V = -q \cdot x$	$M = -q \cdot (L_1 + x) + R_A$	$V = -q \cdot (L_1 + L_2 + x) + R_A \cdot x + R_B \cdot x$

Simulación en GeoGebra.

Primer modelo

Se diseñaron dos applets que reproducen cada uno de los modelos descriptos. En el primer caso se trata de una viga simplemente apoyada con un voladizo, con dos cargas

puntuales, una en tramo principal de la viga y otra en el extremo del voladizo. Las magnitudes de las luces $L1$, $L2$, de la distancia de carga $P1$ desde apoyo izquierdo $L2$ y las cargas $P1$ y $P2$ se pueden modificar mediante los deslizadores que se observan en la parte derecha de la vista geométrica como se observa en Figura 3. También se pueden observar el diagrama de cuerpo libre del modelo, las reacciones de apoyos $R1$ y $R2$, los diagramas de esfuerzos de momento flector y esfuerzo de corte como se observa en Figuras 3 y Figuras 4.

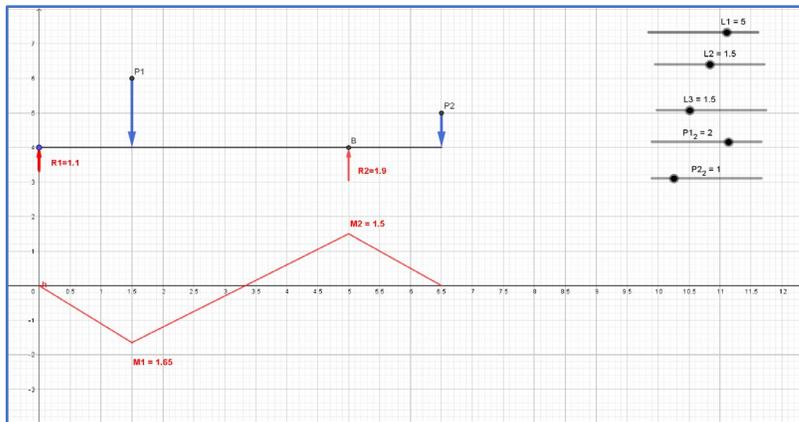


FIGURA 3: vista gráfica del primer modelo. Esquema de cuerpo libre y diagrama de momentos flectores.

FUENTE: elaboración propia

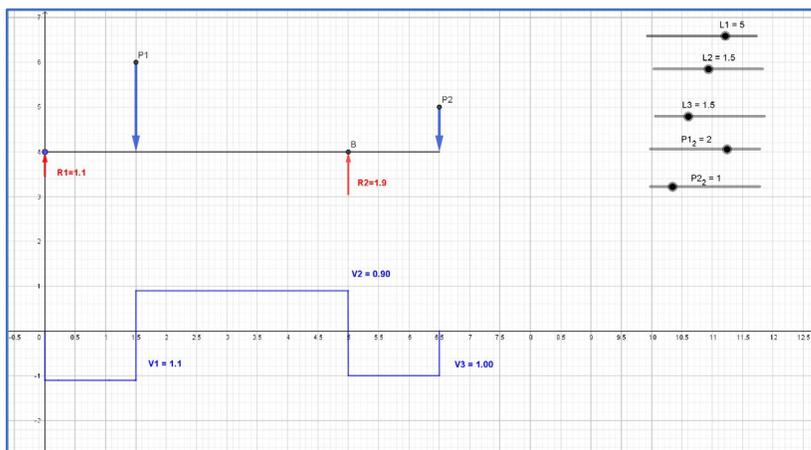


FIGURA 4: vista gráfica. Esquema de cuerpo libre y diagrama de esfuerzo de corte del modelo 1.

FUENTE: elaboración propia

Segundo modelo

El segundo applet consiste en reproducir el modelo 2, que consta de una viga simplemente apoyada, con dos voladizos y una carga uniformemente repartida a lo largo de toda la viga. Las luces del tramo principal $L2$, y los voladizos $L1$ y $L3$ como la magnitud de la carga q se pueden modificar utilizando los respectivos deslizadores. En figura 5 se puede observar el diagrama de cuerpo libre del modelo, donde se visualizan las reacciones de apoyos $R1$, $R2$ y el diagrama de momento flector.

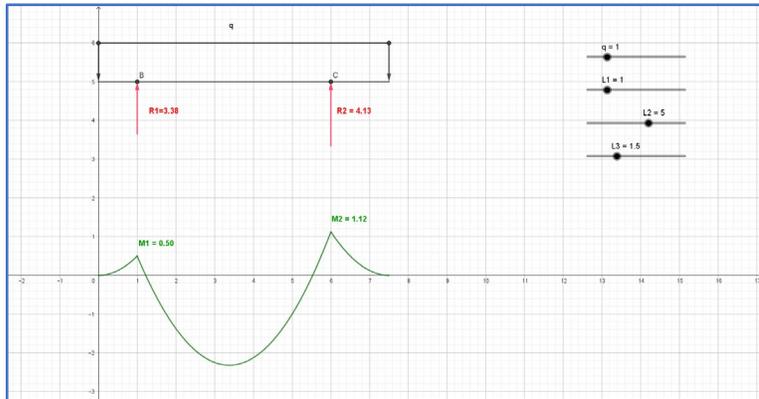


FIGURA 5: vista gráfica en GeoGebra, esquema de cuerpo libre y diagrama de momentos flectores del modelo 2.

FUENTE: elaboración propia

Las ecuaciones de momentos flectores para ambos modelos se programaron en el applet, y para la determinación de esfuerzos de corte se utilizó el comando Derivada para cada uno de los tramos de la viga en ambos modelos.

En Figura 6 se presentan diversas configuraciones de las luces de los voladizos $L1$ y $L3$ y los diagramas de momentos flectores del segundo modelo. Este ejemplo permitiría al alumno poder analizar las variaciones de los diagramas y de esfuerzos máximos en tramo y apoyo para cada configuración de luces. Se puede observar que los momentos en apoyos debido a la luz de los voladizos disminuye el valor máximo en el tramo central de la viga.

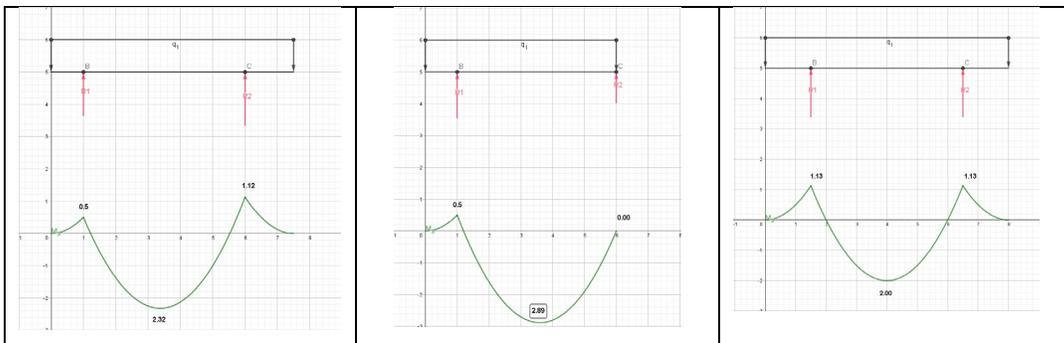


Diagrama de Momentos Flectores para $L1 = 1.00$ m y $L3 = 1.50$ m.	Diagrama de Momentos Flectores para $L1 = 1.00$ m y $L3 = 0.00$ m.	Diagrama de Momentos Flectores para $L1 = 1.50$ m y $L3 = 1.50$ m.
--	--	--

FIGURA 6: variación de diagrama de momentos flectores debido a diferentes configuraciones de luces de los voladizos.

FUENTE: elaboración propia

Actividades desarrolladas por los alumnos

Las actividades que se proponen para los alumnos consisten fundamentalmente en modificar los parámetros de la viga como luces y magnitud de cargas. Se trabaja en visualizar como se modifica el momento flector en apoyo derecho, en el tramo de la viga principal, para diferentes valores de $P1$ y $P2$.

Otro aspecto que se propone es que el alumno visualice de manera geométrica e intuitiva, por un lado, y de manera analítica, por el otro, las relaciones, vinculaciones e influencia entre cargas actuantes y geometría de la estructura, con la correspondiente respuesta de la estructura, manifestada por las reacciones de apoyo y los correspondientes diagramas de momentos flectores M y esfuerzo cortante V .

Para el primer modelo se prevé actividades que permitan visualizar como se modifican reacciones, diagramas de momentos flectores y esfuerzos de corte para diferentes configuraciones de cargas y luces de los voladizos.

En el segundo modelo es importante que se analice como se modifica el diagrama de momentos flectores en tramo y apoyo y como varían los mismos para diferentes luces de los voladizos. Otro aspecto que es importante es que el alumno pueda observar las relaciones matemáticas y funcionales entre cargas y diagramas V y M .

MODELO 1: En este modelo los alumnos deben trabajar con diferentes configuraciones de cargas y luces para observar las variaciones de diagramas de momento flector en tramos y apoyo. Las actividades que desarrollaron los alumnos se describen en Tabla 3.

MODELO 2: el objetivo del trabajo es que el alumno establezca relaciones entre los valores de los momentos flectores en el tramo principal de la viga y los apoyos para diferentes configuraciones de luces $L1$, $L2$ y $L3$. Asimismo, al igual que en el modelo anterior, visualizar las relaciones entre los estados de carga y los diagramas V y M . Las actividades solicitadas a los alumnos respecto a este modelo se describen en Tabla 4.

Tabla 3: Actividades desarrolladas por alumnos de acuerdo al Modelo 1

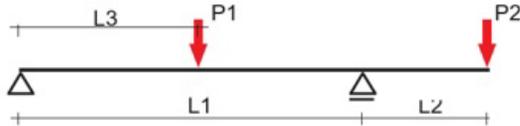
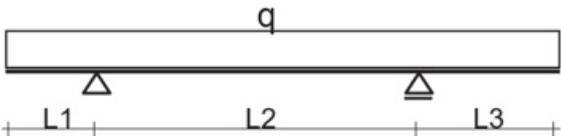
MODELO 1	
 <p>El diagrama muestra una viga horizontal con dos apoyos triangulares. El primer apoyo está a la izquierda. La distancia desde el primer apoyo hasta la carga P1 es L1. La distancia entre las cargas P1 y P2 es L3. La distancia desde la carga P2 hasta el segundo apoyo es L2. Las cargas P1 y P2 están representadas por flechas rojas que apuntan hacia abajo.</p>	
Actividad 1 (A1)	Actividad 1: Considerando $P1 = 2.0\text{ T}$, $L1 = 5.0\text{ m}$, $L2 = 1.0\text{ m}$. Indique como se modifica el diagrama de momentos flectores para $P2 = 0\text{ t}$, $P2 = 1.0\text{ t}$ y $P2 = 2.0\text{ t}$.
Actividad 2 (A2)	Actividad 2: Considera $P1 = 2.0\text{ t}$, $L1 = 5.0\text{ M}$, $L2 = 0$. Compare el diagrama de momentos flectores con la configuración $P1 = 2.0\text{ t}$, $L1 = 5.0\text{ M}$, $L2 = 1.0\text{ m}$, $P2 = 1.0\text{ t}$
Actividad 3 (A3)	Actividad 3: Para que valor aproximado de $L1$ los momentos en tramo y apoyo son iguales si $P1 = 2.0\text{ t}$ y $P2 = 1.0\text{ t}$?
Actividad 4 (A4)	Actividad 4: Indique la relación entre Cargas, Diagrama de Momentos Flector y Esfuerzo de Corte.

Tabla 4: Actividades desarrolladas por alumnos de acuerdo al Modelo 2.

MODELO 2	
 <p>El diagrama muestra una viga horizontal con una carga distribuida q representada por un rectángulo superior. La viga está apoyada en dos puntos, cada uno representado por un triángulo invertido. La viga está dividida en tres tramos: $L1$ desde el inicio hasta el primer apoyo, $L2$ entre los dos apoyos, y $L3$ desde el segundo apoyo hasta el final. Líneas de trazo y puntos indican las divisiones de los tramos.</p>	
Actividad 1 (A1)	Actividad 1: Considerando $q = 1.0 \text{ t/m}$, $L2 = 5.0 \text{ m}$. Analizar los diagramas de Momento Flector para distintas configuraciones de $L1$ y $L3$. ¿Qué conclusiones obtiene?
Actividad 2 (A2)	Actividad 2: Si $q = 0.5 \text{ t/m}$, $L1 = 1.0 \text{ m}$, $L2 = 4.5 \text{ m}$, para que valor de $L3$ los momentos flectores positivos y negativos son iguales.
Actividad 3 (A3)	Actividad 3: Establezca conclusiones respecto a la variación de momentos flectores de acuerdo a las luces $L1$, $L2$, $L3$
Actividad 4 (A4)	Actividad 4: Indique la relación entre Cargas, Diagrama de Momentos Flector y Esfuerzo de Corte.

4 - Resultados

Por un lado, se analiza en que nivel los alumnos alcanzaron respuestas satisfactorias a las consignas propuestas, y por el otro, si existe correlación entre los resultados de estas actividades y los resultados de evaluaciones parciales donde debían resolver ejercicios utilizando modelos numéricos, que evidencien, o no, la transferencia conceptual e intuitiva al bordaje matemático de la situación.

Las respuestas de los alumnos a cada una de las actividades planteadas para cada modelo se calificaron siguiendo un rango numérico comprendido entre 0 y 3, donde 0

implica que no responde, 1 que responde incorrectamente, 2 que responde en forma parcialmente correcta y 3 que responde correctamente.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5. De la misma se desprende que los alumnos no tuvieron dificultades para responder las consignas 1 y 2 de cada uno de los modelos, obteniendo notas cuyo promedio oscila entre 2,92 y 2,33, lo que representan el 97% y el 78% del máximo puntaje posible respectivamente. Estos resultados implican que un elevado porcentaje de alumnos de la muestra logra identificar correctamente la variación de los diagramas de momento flector para diferentes configuraciones de cargas y luces.

Las actividades 3 del modelo 1 y las 3 y 4 del modelo 2, indican mayor dificultad por parte de los alumnos para alcanzar respuestas satisfactorias, mientras que en la resolución de la actividad 4 del modelo 1 alcanza un puntaje promedio de 0,75 lo que equivale al 25% del máximo puntaje posible. Los resultados obtenidos de estas actividades implica que los alumnos pueden tener aún dificultades para establecer las relaciones matemáticas entre los estados de carga y los diagramas de esfuerzos cortante y momento flector.

Tabla 5: Resultados obtenidos por los alumnos en las actividades realizadas

RESPUESTAS	MODELO 1				MODELO 2			
	ACTIVIDAD 1	ACTIVIDAD 2	ACTIVIDAD 3	ACTIVIDAD 4	ACTIVIDAD 1	ACTIVIDAD 2	ACTIVIDAD 3	ACTIVIDAD 4
NO RESPONDE	0	1	1	9	1	1	6	5
RESPONDE INCORRECTAMENTE	0	0	4	0	0	0	0	1
PARCIALMENTE CORRECTA	1	5	5	0	0	2	3	4
CORRECTA	11	6	2	3	11	9	3	2
PROMEDIO	2.92	2.33	1.67	0.75	2.75	2.58	1.25	1.25
%	97.00	78.00	56.00	25.00	92.00	86.00	42.00	42.00

Por otro lado, un análisis entre los resultados obtenidos en estas actividades y las notas obtenidas en el parcial donde los alumnos debían resolver numéricamente ejercicios vinculados temáticamente a las situaciones planteadas en las actividades para resolver a través de los modelos dinámicos (applets de Geogebra), revela que existe una muy baja correlación entre ambos resultados.

Conclusiones

Los alumnos que participaron de la experiencia no manifestaron dificultades para asimilar, y describir de manera cualitativa, basándose en modelos dinámicos y sus representaciones gráficas y de diagramas, las respuestas de una viga a modificaciones en su sistema de cargas y en su geometría.

Evidenciaron dificultades medias para establecer relaciones cuando debían combinar aspectos cualitativos con otros de carácter cuantitativo.

Tuvieron importantes dificultades para elaborar conclusiones cuando las mismas involucraban varios elementos conceptuales y cuando debían introducir aspectos cuantitativos.

La falta de correlación entre los resultados obtenidos en las actividades con los applets del software dinámico y las notas de los parciales evidencian dificultades en el proceso de transferencia de aspectos con base en la lógica concreta (modelos gráficos, esquemas) a la resolución de situaciones donde deben utilizar pensamiento basado en lógica abstracta (modelos matemáticos).

Las consignas de trabajo para los alumnos se redactaron integrando en cada una de ellas aspectos conceptuales asociados al aprendizaje del diseño estructural, con modelos matemáticos asociados al cálculo estructural. Esta integración dificulta realizar interpretaciones específicas sobre cada uno de estos componentes del proceso de aprendizaje.

El uso de software dinámico GeoGebra constituye una herramienta didáctica que permite al alumno modificar parámetros del problema, como por ejemplo luces de las vigas y magnitud de cargas puntuales, permitiendo observar la variación de los esfuerzos internos de las vigas para diferentes configuraciones de luces y cargas. Esta posibilidad, que no existe en los libros de texto, permite docente desarrollar materiales potencialmente significativos como se menciona en la bibliografía.

Resulta necesario profundizar este estudio a los fines de elaborar conclusiones que posibilite proponer estrategias educativas que aporten a la superación de los obstáculos identificados. En tal sentido, resultará interesante reformular las consignas de trabajo diferenciándolas de manera que puedan identificarse herramientas y dificultades tanto para el aprendizaje del diseño estructural, como del análisis y cálculo estructural por separado.

Referencias

- Aguilar, G. (2020). Modelos en GeoGebra para el plano y el espacio. Impresión de materiales 3D para su uso en el aula. *Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, 9(1), 132-146.
- Carbonell, V., Romero, C., Martínez, E., y Flórez, M. (2013). Interactive simulations as teaching tools for engineering mechanics courses. *European Journal of Physics*, 34(4), 991.
- Dimitrov, D. M., y Slavov, S. D. (2018). Application of GeoGebra software into teaching mechanical engineering courses. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 178, p. 07008). EDP Sciences.
- Ferreira, K., Myrrha, B. N., Brandenburger, J. H., de Almeida, A. C., Dias, J., y Crispim, R. A. (2017). Pesquisa e desenvolvimento de softwares para o estudo de vigas: propostas de materiais potencialmente significativos. *Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, 6(1), 52-67.
- Ferreira, K. H., y Ribeiro, B. M. (2015). Desenvolvimento e proposta de material potencialmente significativo para o estudo de equilíbrio de corpos rígidos com o software GeoGebra. *Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, 4(2), 63-77.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación, 6(1), 170-191.
- Markou, A. A., y Ruan, G. (2022). Graphic statics: projective funicular polygon. In *Structures* (Vol. 41, pp. 1390-1396). Elsevier.
- Orta, B., Martínez-Gaya, J. E., Calle, A., y Olmedo, C. (2022). Teaching Building Structures Graphical Methods with GeoGebra. *Advances in Building Education*, 6(1), 23-36.
- Poma Tintaya, E. L. (2018). Aplicación del software MDSolids en el aprendizaje de fuerzas internas de las vigas en estudiantes de la Universidad Continental de Huancayo.
- Sadowski, K., y Jankowski, S. (2021). Learning statics by visualizing forces on the example of a physical model of a truss. *Buildings*, 11(9), 395.