EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Con*Ciencia* Sísmica: estrategia educativa para la formación en buenas prácticas sísmicas en jóvenes de colegios y universidades

Danny Melo, Daniel Gómez, Sandra Villamizar, Gerardo Castañeda

Universidad del Valle
Cali, Colombia

Resumen

En Colombia, la alta amenaza sísmica, sumada a los elevados niveles de construcción informal, incrementa de manera significativa el riesgo sísmico en el entorno construido, especialmente en zonas densamente pobladas donde predominan condiciones de alta vulnerabilidad estructural. Se estima que tres de cada cinco edificaciones en el país no cuentan con licencia de construcción ni cumplen con la Norma Colombiana NSR-10, lo que incrementa significativamente su vulnerabilidad estructural. Para abordar esta problemática, se desarrolló Con*Ciencia* Sísmica, un taller didáctico diseñado para fomentar prácticas de construcción seguras en colegios y universidades. A través de encuestas pre y post taller, modelos estructurales a escala y actividades lúdicas, los participantes exploraron los efectos de los sismos en edificaciones y aplicaron principios de diseño sismorresistente. Participaron 141 personas, entre estudiantes de secundaria y universitarios, seleccionados mediante muestreo intencional. Se aplicaron encuestas antes y después del taller, con análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon ($p < 0.05$). Los resultados mostraron mejoras significativas en el conocimiento y percepción del riesgo sísmico, especialmente en estudiantes de secundaria. La retroalimentación cualitativa destacó la utilidad de los modelos físicos y la metodología lúdica como facilitadores del aprendizaje. Estos hallazgos confirman que la educación es un factor clave en la reducción de la vulnerabilidad ante eventos sísmicos, y resaltan la importancia de las iniciativas pedagógicas orientadas a fortalecer la seguridad estructural en el país.

Palabras clave: amenaza sísmica; vulnerabilidad estructural; construcción sismorresistente; cultura sísmica; taller didáctico

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4522

Abstract

In Colombia, the high seismic hazard, combined with the prevalence of informal construction, significantly increases the seismic risk in the built environment, particularly in densely populated areas where conditions of high structural vulnerability prevail. It is estimated that three out of every five buildings in the country lack a construction license and do not comply with Colombian Standard NSR-10, which significantly increases their structural vulnerability. To address this problem, ConCiencia Sísmica, an educational workshop designed to promote safe construction practices in schools and universities, was developed. Through pre- and post-workshop surveys, structural scale models and playful activities, participants explored the effects of earthquakes on buildings and applied seismic-resistant design principles. A total of 141 participants, including high school and university students, were selected by purposive sampling. Surveys were administered before and after the workshop, and statistical analysis was performed using the Wilcoxon test ($p < 0.05$). The results showed significant improvements in the knowledge and perception of seismic risk, especially in high school students. Qualitative feedback highlighted the usefulness of physical models and playful methodology as facilitators of learning. These findings confirm that education is a key factor in reducing vulnerability to seismic events, and highlight the importance of pedagogical initiatives aimed at strengthening structural safety in the country.

Keywords*: seismic hazard; structural vulnerability; seismic resistant construction; seismic culture; didactic workshop*

1. Introducción

Los sismos, causados por la liberación repentina de energía en la corteza terrestre debido al movimiento de placas tectónicas, representan uno de los fenómenos naturales más destructivos (Geographic, 2025). Además de las pérdidas humanas, generan graves impactos económicos al dañar la infraestructura y frenar el desarrollo regional (Paudel, 2024). Ante esta amenaza, la ingeniería sísmica se ha convertido en una disciplina fundamental para el diseño de estructuras resilientes que protejan la vida humana (Shahjalal et al., 2024). Para ello, se han establecido normas técnicas, algunos ejemplos de estas son la NSR-10 en Colombia (NSR-10, 2010) y la ASCE 7-22 en Estados Unidos (ASCE7-22, 2022), que fijan requisitos mínimos de seguridad. Sin embargo, persiste una brecha importante en la comprensión y aplicación efectiva de estas normativas. Colombia, ubicada en el "Anillo de Fuego del Pacífico" es una zona con alta actividad sísmica y volcánica, enfrenta un riesgo elevado debido a la proliferación de construcciones informales y al incumplimiento de normativas sismorresistentes (CENAC, 2023). Ejemplos como el colapso del Edificio Space en Medellín en el año 2013 demuestran las consecuencias de deficiencias en el diseño y la construcción, donde según el análisis técnico, de haberse aplicado correctamente la normativa vigente, el colapso pudo haberse evitado (Yamin et al., 2018).

La educación temprana en gestión del riesgo sísmico es fundamental para fomentar una cultura de resiliencia (Shaw & Kobayashi, 2001). Un ejemplo destacado es la iniciativa "The University Consortium of Instructional Shake Tables", que en 1998 utilizaron mesas sísmicas vibratorias para enseñar a estudiantes sobre los efectos de los terremotos en las estructuras (Dyke y Caicedo, 2002).

Asimismo, el estudio de King y Smeed et al. (2017) muestra cómo el diseño de edificios resistentes en estudiantes de sexto grado fomenta habilidades STEM, mientras que el protocolo de Musacchio et al. (2021) demuestra que una comunicación eficaz del riesgo sísmico aumenta la preparación en la comunidad educativa.

En este contexto, Con*Ciencia* Sísmica busca contribuir a reducir la brecha educativa en zonas de alta amenaza sísmica mediante el diseño, implementación y evaluación de un taller didáctico dirigido a jóvenes de colegios y universidades en el Valle del Cauca, Colombia. La originalidad de este trabajo radica en su enfoque inclusivo (abarcando desde estudiantes de secundaria hasta universitarios) y su adaptabilidad a contextos con recursos limitados. A diferencia de iniciativas previas centradas en laboratorios especializados, este taller emplea simuladores manuales y modelos 3D accesibles, lo que lo convierte en un modelo escalable para zonas rurales o de bajos ingresos.

2. Metodología

2.1 Diseño y estructura del taller

El taller se estructuró en tres fases interconectadas, diseñadas para maximizar la retención de conocimientos y la participación:

La primera parte del taller consiste en una introducción teórica interactiva de 10 minutos, apoyada en una presentación visual guiada por un personaje guía en forma de cerebro antropomórfico que acompaña a los participantes en la comprensión de conceptos sísmicos fundamentales y los principios básicos del diseño sismorresistente (Fig. 1 a 3). Esta sección también incluye una breve revisión de eventos sísmicos significativos ocurridos en Colombia (Fig. 1), así como la ubicación Colombia dentro del contexto sísmico (Fig. 2). Además, se mostraron caricaturas de edificaciones típicas y su comportamiento ante un sismo, contrastadas posteriormente con imágenes reales de construcciones afectadas, con el objetivo de contextualizar el riesgo de manera clara y accesible (Fig. 3).

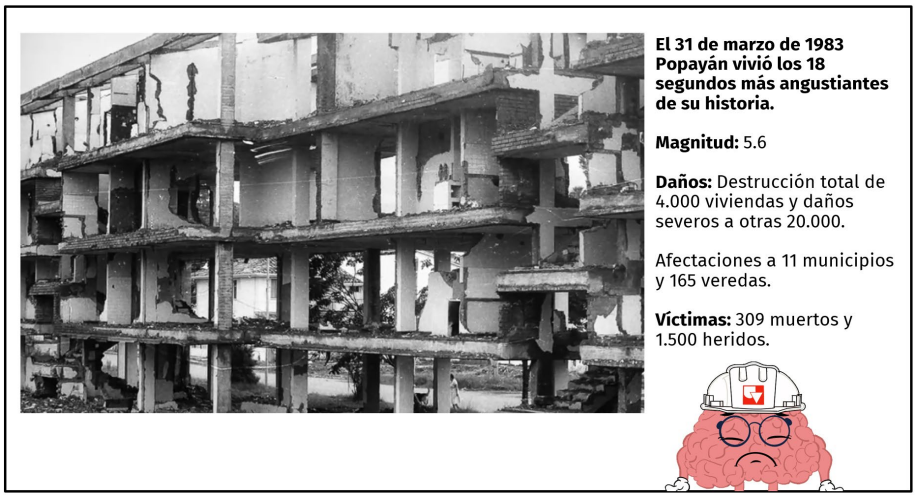

Figura 1. Sismo de 1983 ocurrido en Popayán, Colombia.

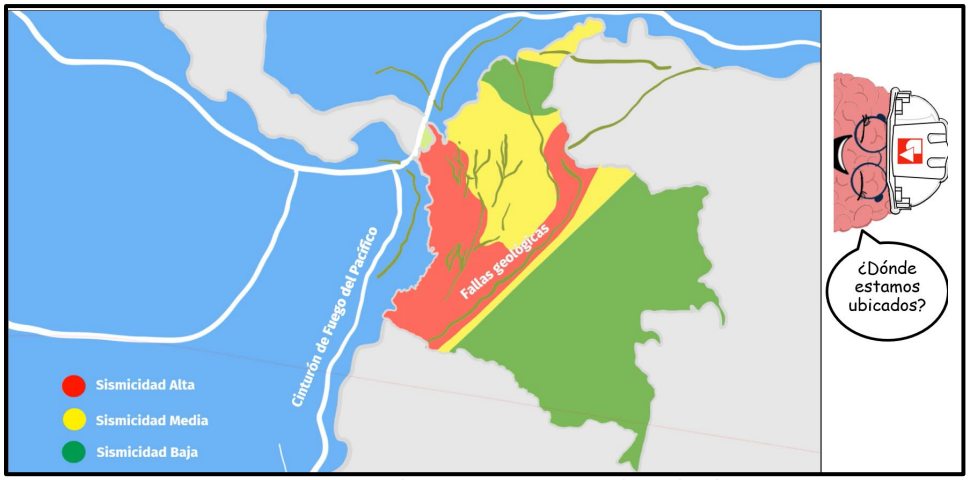

Figura 2. Mapa de amenaza sísmica de Colombia.

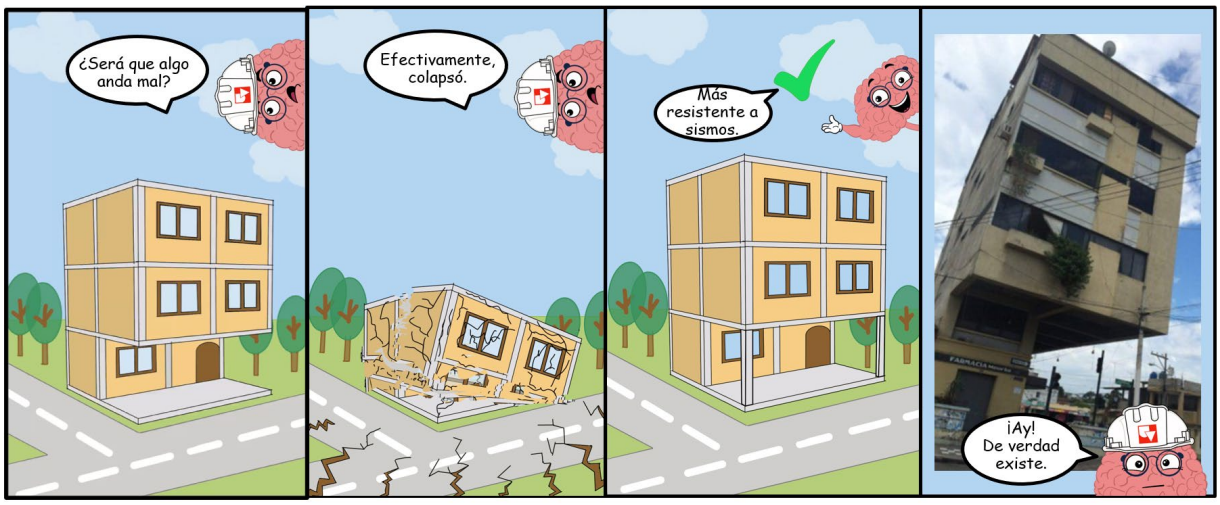

Figura 3. Ejemplo de caricatura de vivienda vulnerable y un caso real.

En la segunda parte del taller, con una duración aproximada de 10 minutos, se lleva a cabo demostraciones prácticas empleando estructuras impresas en 3D y un simulador sísmico manual, construido con tubos de PVC, tablas y ligas elásticas. Estas herramientas permiten a los participantes interactuar directamente con representaciones físicas de edificaciones y observar su comportamiento ante un sismo simulado. Con el fin de ilustrar de manera más precisa las deficiencias constructivas más comunes, se utilizan modelos didácticos a escala que reproducen edificaciones típicas. Estos modelos impresos en 3D, incorporan irregularidades estructurales frecuentes en procesos de autoconstrucción, en concordancia con lo establecido por la NSR-10 (Fig. 4).

Figura 4. Demostración del comportamiento estructural ante sismos de modelos impresos en 3D en el simulador sísmico.

Finalmente, se desarrolla un juego colaborativo de 60 minutos con el objetivo de que los participantes apliquen los conocimientos adquiridos sobre diseño sismorresistente, comprendieran la influencia de las cargas y las irregularidades estructurales, fortaleciendo habilidades como el trabajo en equipo y la toma de decisiones. Organizados en grupos de 5 a 7 personas, los participantes refuerzan una estructura utilizando materiales sencillos: pitillos para simular vigas y columnas, cartón para losas, cimientos impresos en 3D y cinta adhesiva para las uniones. Cada equipo recibe un presupuesto inicial para adquirir refuerzos en una tienda, promoviendo la planificación financiera y la gestión de recursos como en proyectos reales. Durante la dinámica, se introducen eventos aleatorios a través de una ruleta, como el daño de una columna (daño estructural simulado), la adición de peso por otro equipo (sobrecarga), pruebas sísmicas de diferente intensidad y la asignación de bonos económicos. Estas situaciones, inspiradas en escenarios reales, desafían a los equipos a adaptar sus diseños y estrategias. Finalmente, las estructuras son evaluadas mediante un sismo simulado, permitiendo reflexionar sobre la importancia del diseño racional y equilibrado frente a amenazas sísmicas (Fig. 5).

Figura 5. Implementación del juego.

2.2 Diseño y estructura del taller

El estudio cuenta con la participación de 141 personas provenientes de Cali y Tuluá, seleccionadas mediante un muestreo intencional con el fin de incluir dos perfiles principales. El primero corresponde a estudiantes de educación secundaria (57 %), en su mayoría matriculados en instituciones públicas ubicadas en zonas con alta densidad de construcciones informales, como el Colegio Nuevo Latir y la Institución Educativa Agustín Nieto Caballero, así como la Fundación Educreando. El segundo perfil incluye estudiantes universitarios (43 %) de los programas de Ingeniería Civil, Arquitectura y Construcciones de la Universidad del Valle, sedes Cali y Tuluá, muchos de ellos provenientes de regiones con alta amenaza sísmica. Los criterios de inclusión fueron: tener entre 14 y 23 años, contar con el asentimiento y el consentimiento informado en el caso de los menores de edad, y participar voluntariamente en todas las fases del taller.

2.3 Instrumentos de evaluación

Se aplican encuestas anónimas antes y después del taller, con las mismas preguntas basadas en una escala Likert, donde 1 indica el menor nivel de acuerdo o familiaridad (por ejemplo, "muy en desacuerdo" o "nada familiarizado/a") y 5 el mayor ("totalmente de acuerdo" o "muy familiarizado/a"). Los ítems evalúan:

1. ¿Qué tan de acuerdo está con la afirmación de que los terremotos son movimientos bruscos y violentos del suelo provocados por la liberación de energía acumulada en fallas geológicas entre las capas de la Tierra?
2. La imagen muestra dos puntos en la corteza terrestre: 1) el foco o hipocentro y 2) el epicentro. ¿Qué tan familiarizado(a) está con la diferencia entre ambos?
3. ¿Qué tan familiarizado(a) está con el significado de la magnitud sísmica cuando se informa, por ejemplo, que un sismo tuvo magnitud 5?
4. ¿Qué tan relacionada considera que está la intensidad de un sismo con los daños causados a las personas y a las edificaciones?
5. ¿Qué tanto considera que influye la falta de mantenimiento y la mala calidad de los materiales en el nivel de afectación de una edificación durante un sismo?
6. ¿Considera usted que la edificación representada en la figura es vulnerable ante un sismo? (La figura ilustra una edificación con distribución irregular de masas)
7. ¿Considera usted que la edificación representada en la figura es vulnerable ante un sismo? (La figura ilustra una edificación con piso flexible)
8. ¿Considera usted que la edificación representada en la figura es vulnerable ante un sismo? (La figura ilustra una edificación con irregularidad estructural en altura.)
9. ¿Qué tan posible cree usted que es construir una vivienda o edificación con un diseño estructural adecuado y sismorresistente?
10. ¿Qué tan vulnerable a los sismos considera usted el lugar donde reside actualmente?

El análisis estadístico se lleva a cabo utilizando la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, con un nivel de significancia establecido en $p < 0.05$. Esto implica que, si al aplicar la prueba se obtiene un valor p menor a 0.05, se puede concluir que hubo un cambio significativo entre las respuestas (Zaus et al., 2024). Asimismo, se comparan los porcentajes de respuestas positivas

obtenidas antes y después del taller, entendidas como aquellas en las que los participantes seleccionaron las opciones 4 ("de acuerdo" o "familiarizado/a") o 5 ("totalmente de acuerdo" o "muy familiarizado/a"). Adicionalmente, se incorporan observaciones cualitativas recogidas durante las actividades grupales, con el propósito de complementar y enriquecer la interpretación de los resultados cuantitativos.

3. Resultados

3.1 Cambios en el Conocimiento y Percepción

Para el análisis, se definieron dos grupos de estudio. El Grupo 1 incluyó únicamente a los estudiantes de educación secundaria, mientras que el Grupo 2 estuvo integrado por los estudiantes universitarios. A continuación, se presentan los resultados del análisis comparativo entre las evaluaciones aplicadas antes y después del taller, correspondientes a los dos grupos previamente definidos. Las Tablas 1 y 2 resumen el porcentaje de respuestas positivas en ambos momentos, el porcentaje de cambio entre las evaluaciones y el valor p obtenido mediante la prueba de Wilcoxon.

	Respuestas positivas		% Respuestas positivas			
Pregunta	Pre (4-5)	Post (4-5)	% Pre (4-5)	%Post (4-5)	% Cambio	p-valor
1	45	69	56.25%	86.25%	30.00%	0.0001
2	11	67	13.75%	83.75%	70.00%	0.0000
3	37	74	46.25%	92.50%	46.25%	0.0000
4	44	71	55.00%	88.75%	33.75%	0.0000
5	39	73	48.75%	91.25%	42.50%	0.0000
6	42	71	52.50%	88.75%	36.25%	0.0000
7	23	65	28.75%	81.25%	52.50%	0.0000
8	23	51	28.75%	63.75%	35.00%	0.0000
9	54	61	67.50%	76.25%	8.75%	0.1188
10	29	51	36.25%	63.75%	27.50%	0.0002

Tabla 1. Resultados comparativos pre y post taller para el Grupo 1.

	Respuestas positivas		% Respuestas positivas			
Pregunta	Pre (4-5)	Post (4-5)	% Pre (4-5)	%Post (4-5)	% Cambio	p-valor
1	46	57	32.62%	40.43%	7.80%	0.0156
2	30	38	21.28%	26.95%	5.67%	0.7110
3	41	59	29.08%	41.84%	12.77%	0.0000
4	50	54	35.46%	38.30%	2.84%	0.1314
5	55	60	39.01%	42.55%	3.55%	0.0591
6	42	50	29.79%	35.46%	5.67%	0.3763

7	13	24	9.22%	17.02%	7.80%	0.7394
8	13	22	9.22%	15.60%	6.38%	0.0103
9	52	54	36.88%	38.30%	1.42%	0.2946
10	22	41	15.60%	29.08%	13.48%	0.0421

Tabla 1. Resultados comparativos pre y post taller para el Grupo 1.

3.2 Retroalimentación Cualitativa

La retroalimentación cualitativa recogida durante y después del taller evidencia una valoración muy positiva por parte de los participantes, quienes destacaron el carácter dinámico, práctico y colaborativo de la actividad. Muchos de los comentarios resaltaron que la experiencia fue no solo entretenida y motivadora, sino también altamente formativa, al permitir la aplicación directa de conceptos teóricos relacionados con el comportamiento estructural frente a sismos. Una de las fortalezas más reconocidas fue el uso de modelos 3D y simuladores, los cuales facilitaron la comprensión de principios abstractos al convertirlos en experiencias tangibles. Asimismo, se valoró positivamente la modalidad de juego colaborativo, ya que promueve el trabajo en equipo, la toma de decisiones bajo presión y la adaptación frente a situaciones inesperadas. Varios grupos expresaron que, al enfrentarse a fallas estructurales simuladas, lograron interiorizar la importancia de la redundancia y la distribución adecuada de cargas. Además, muchos participantes expresaron su agradecimiento por el compromiso y la dedicación del equipo organizador, reconociendo el valor del ejercicio como una herramienta para fortalecer no solo conocimientos técnicos, sino también la conciencia frente al riesgo sísmico.

4. Discusión

Los resultados para el Grupo 1, compuesto por 80 estudiantes de educación secundaria, evidenciaron mejoras estadísticamente significativas en la comprensión de conceptos clave tratados en el taller (Tabla 1). El mayor impacto se observó en la comprensión de los conceptos de "epicentro" e "hipocentro", con un incremento del 70 % en respuestas correctas. También se destacó un aumento del 46 % en la interpretación del concepto de magnitud, y un 52 % en la identificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones con piso flexible, lo que sugiere una mejor lectura de irregularidades estructurales a partir de representaciones gráficas. Todos estos cambios fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$), según la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Sin embargo, el menor impacto se evidenció en la percepción sobre la posibilidad de construir edificaciones sismorresistentes. Aunque el valor p fue significativo (0.0118), el cambio porcentual fue bajo (8 %), indicando que una parte de los estudiantes (24 %) aún considera inviable la construcción con criterios sismorresistentes. Esto sugiere la necesidad de reforzar este componente temático en futuras intervenciones educativas.

En el Grupo 2, conformado por 61 estudiantes universitarios de primeros semestres en programas como Ingeniería Civil, Arquitectura y Construcciones, los incrementos fueron más modestos (Tabla 2). Esto se debe a que muchos ya poseían conocimientos previos sobre los temas tratados. Los cambios porcentuales en respuestas positivas oscilaron entre el 1 % y el 13.5 %, siendo la pregunta

con mayor variación la relacionada con la percepción de vulnerabilidad sísmica del lugar de residencia. Este resultado indica que, pese a su formación técnica, algunos no habían reflexionado sobre las condiciones específicas de sus viviendas. El análisis estadístico mostró que en las preguntas 2, 4, 5, 6, 7 y 9 no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo cual respalda la hipótesis de un conocimiento previo generalizado en este grupo. Esta falta de significancia respalda la idea de que los estudiantes ya tenían un dominio previo de los conceptos evaluados, lo cual limitó la magnitud del impacto observable del taller en este grupo.

Al comparar los resultados entre los tres grupos participantes, se evidencian diferencias notables en el impacto del taller según el nivel de formación de los asistentes. El Grupo 1, compuesto por estudiantes de educación secundaria, presentó los mayores porcentajes de cambio, especialmente en conceptos clave, lo cual refleja una alta receptividad al contenido del taller y una baja familiaridad previa con la temática. En contraste, el Grupo 2, conformado por estudiantes universitarios en carreras afines, presentó los menores porcentajes de cambios, ya que sus conocimientos previos sobre el tema limitaron el efecto observable del taller.

5. Conclusiones

Este estudio demuestra la efectividad de una metodología de taller interactiva y participativa, estructurada en fases teórica, práctica y lúdica, para mejorar significativamente la comprensión de conceptos fundamentales relacionados con el riesgo sísmico y el diseño sismorresistente en población joven. Los resultados obtenidos a partir de la evaluación pre y post taller, analizados mediante la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, evidencian un incremento sustancial en el conocimiento y la percepción de los participantes, especialmente en el grupo de estudiantes de educación secundaria.

La incorporación de un personaje guía, el uso de modelos 3D y simuladores sísmicos manuales, y el diseño de un juego colaborativo resultaron ser estrategias pedagógicas altamente efectivas. Estas herramientas permitieron traducir conceptos abstractos en experiencias tangibles y fomentaron la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos, lo que se reflejó en los significativos cambios observados en la comprensión de términos como hipocentro, epicentro y magnitud sísmica, así como en la identificación de la vulnerabilidad estructural asociada a irregularidades en las edificaciones. La retroalimentación cualitativa complementa estos hallazgos, resaltando la alta valoración del carácter dinámico, práctico y colaborativo del taller por parte de los participantes.

La comparación entre los grupos reveló que el impacto del taller fue proporcional al nivel de conocimiento previo de los participantes. Los estudiantes de educación secundaria, con menor familiaridad inicial con la temática, experimentaron las mayores mejoras en su comprensión y percepción del riesgo sísmico. En contraste, los estudiantes universitarios de carreras afines, quienes ya poseían una base de conocimientos técnicos, mostraron cambios más modestos. Este hallazgo subraya la importancia de adaptar las estrategias de intervención educativa al nivel de los participantes para maximizar su efectividad.

6. Referencias

- ASCE7-22 (2022). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22) (Reston, VA: American Society of Civil Engineers).
- Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional de Colombia (CENAC), C. (2023). Construcción informal en el mercado colombiano: Análisis y tendencias.
- Dyke, S. J., & Caicedo, J. M. (2002). The university consortium of instructional shake tables. In Proceedings of the International Conference on Advances and New Challenges in Earthquake Engineering, Harbin, China.
- English, L. D., King, D., & Smeed, J. (2017). Advancing integrated stem learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. The Journal of Educational Research, vol. 110, no. 3, pp. 255–271. https://doi.org/10.1080/00220671.2016.1264053
- Geographic, N. (2025). Earthquakes.
- Musacchio, G., Eva, E., Crescimbene, M., Pino, N., Cugliari, L., et al. (2021). A protocol to communicate seismic risk in schools: design, test and assessment in Italy. Annals of Geophysics, vol. 64, no. 3, p. SE325-SE325. https://doi.org/10.4401/ag-8533
- NSR-10 (2010). Norma sismorresistente colombiana (NSR-10).
- Paudel, J. (2025). Economic impact of large earthquakes: lessons from residential property values. Oxford Economic Papers, vol. 77, no. 2, pp. 564–583. https://doi.org/10.1093/oep/gpae041
- Shahjalal, M., Yahia, A. K. M., Morshed, A. S. M., & Tanha, N. I. (2024). Earthquake-resistant building design: innovations and challenges. Global Mainstream Journal of Innovation, Engineering & Emerging Technology, vol. 3, no. 04, pp. 101–119. https://doi.org/10.62304/jieet.v3i04.209
- Shaw, R., & Kobayashi, M. (2001). Role of schools in creating earthquake-safer environment. In OECD Workshop, Thessaloniki. vol. 2001.
- Yamin, L. E., Correal, J. F., Reyes, J. C., Ramirez, F., Rincón, R., Hurtado, A. I., et al. (2018). Sudden collapse of the 27-story Space building in Medellin, Colombia. Journal of Performance of Constructed Facilities, vol. 32, no. 3, p. 04018010. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001148
- Zaus, M. A. (2024). Wilcoxon's Method in Determining The Effect of Using Discovery Learning Learning Strategies on The Learning Outcomes Of Vocational Basic DPIB Grade X Students. Indonesia Journal of Engineering and Education Technology (IJEET), vol. 2, no. 1, pp. 66–70. https://doi.org/10.61991/ijeet.v2i1.12

Sobre los autores

- **Danny Melo**: Ingeniera Civil, danny.melo@correounivalle.edu.co
- **Daniel Gómez**: Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Civil, Doctor en Filosofía de Purdue University, West Lafayette. Profesor titular. daniel.gomez@correounivalle.edu.co
- **Sandra Villamizar**: Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Civil, Doctor en Filosofía Purdue University, West Lafayette. Profesor asistente. sandra.villamizar@correounivalle.edu.co
- **Gerardo Castañeda**: Administrador de Empresas, Magíster en Administración de Empresas de la Universidad del Valle. gerard.castaneda@correounivalle.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)