

4. Impacto del aula invertida y la realidad aumentada en la enseñanza del torque en el bachillerato



JUAN CARLOS SERNA*

JESÚS ALBERTO FLORES CRUZ**

FRANCISCO AGUILAR ACEVEDO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.399.04>

Resumen

Este estudio exploró el impacto de la metodología de aula invertida (AI) complementada con realidad aumentada (RA) en la enseñanza del concepto de torque en estudiantes de bachillerato mediante un diseño cuasiexperimental. Se compararon dos grupos: uno experimental, que utilizó AI + RA para visualizar y manipular modelos 3D; y otro grupo de control, que recibió instrucción tradicional. La percepción estudiantil se evaluó con un cuestionario validado y se aplicaron análisis estadísticos descriptivos, ANOVA, regresión lineal y pruebas de comparación entre grupos.

Los resultados sugieren una alta aceptación de la metodología combinada, con puntuaciones destacadas en su adecuación a la asignatura ($M = 4.15$, $DE = 0.79$) y en la percepción de mejora del aprendizaje ($M = 4.09$, $DE = 0.63$). El pensamiento crítico ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) y la motivación ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) fueron los principales predictores de una percepción

* Doctorado en Ciencias en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4120-8227>

** Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7816-4134>

*** Doctor en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5248-3230>

positiva. Aunque la comparación de los resultados del posttest entre grupos no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.113$, ANCOVA), el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) sugiere un impacto pequeño, pero favorable, hacia la intervención didáctica con RA + AI.

Palabras clave: *aula invertida, educación en física, realidad aumentada, torque, análisis estadístico, motivación.*

Abstract

This study explored the impact of the flipped classroom (FC) methodology complemented with augmented reality (AR) on teaching the concept of torque to high school students, through a quasi-experimental design. Two groups were compared: an experimental group that used FC + AR to visualize and manipulate 3D models, and a control group that received traditional instruction. Student perception was assessed using a validated questionnaire (Mendaña-Cuervo & López-González, 2021), and descriptive statistics, ANOVA, linear regression, and group comparison tests were applied.

The results suggest a high level of acceptance of the combined methodology, with notable scores for its adequacy to the subject ($M = 4.15$, $SD = 0.79$) and perceived improvement in learning ($M = 4.09$, $SD = 0.63$). Critical thinking ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) and motivation ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) were the main predictors of positive perception. Although the post-test comparison between groups did not yield statistically significant differences ($p = 0.113$, ANCOVA), the observed effect size ($\eta^2 = 0.042$) suggests a small but favorable impact of the FC + AR intervention.

Additionally, AR facilitated the understanding of abstract concepts by allowing students to manipulate forces on rigid objects, offering a more visual and interactive learning experience. No significant differences were found by gender ($p = 0.329$) or prior experience with FC ($p = 0.874$), indicating that this methodology may be adaptable to diverse student profiles. These findings, although limited to a specific case study, provide preliminary evidence of the pedagogical potential of integrating FC + AR in high school physics education.

Keywords: *flipped classroom, physics education, augmented reality, torque, statistical analysis, motivation*

Introducción

La enseñanza de la física en el bachillerato enfrenta desafíos significativos, especialmente cuando se abordan conceptos abstractos como el torque, cuya comprensión requiere visualizar relaciones espaciales, vectores y el efecto de fuerzas en cuerpos rígidos. Tradicionalmente, estos temas se enseñan mediante explicaciones teóricas y ejercicios, lo cual puede resultar insuficiente para lograr aprendizajes significativos. Frente a esta dificultad, han emergido nuevas metodologías y tecnologías que buscan transformar la enseñanza-aprendizaje en experiencias más activas, personalizadas y contextualizadas.

Una de estas metodologías es el AI que propone reorganizar los tiempos y espacios del proceso educativo, la instrucción directa se traslada fuera del aula (por ejemplo, mediante videos, lecturas o guías interactivas) y el tiempo presencial se dedica a la resolución de problemas, la discusión colaborativa y la aplicación práctica del conocimiento. Este modelo ha sido ampliamente investigado y ha demostrado su efectividad en el desarrollo de habilidades de orden superior, la autonomía, la motivación y la retención del aprendizaje (Bergmann y Sams, 2012; Bishop y Verleger, 2013; Lo y Hew, 2017). En el área de las ciencias, particularmente la física, su aplicación permite que los estudiantes lleguen a clase con una base conceptual que puede profundizarse mediante actividades experimentales o simuladas. En paralelo, la RA se ha posicionado como una herramienta emergente en el ámbito educativo. Su capacidad para superponer información digital (imágenes, modelos 3D, simulaciones) sobre el entorno real mediante dispositivos móviles o tabletas permite crear experiencias de aprendizaje inmersivas. Diversos estudios han mostrado que la RA mejora la comprensión de conceptos abstractos, la motivación y la atención, especialmente en asignaturas STEM (Fiorella y Mayer, 2018; Hidayat y Wardat, 2024). En el caso de la física, su potencial radica en permitir la manipulación directa de variables y fenómenos que, de otro modo, sólo podrían explicarse de forma teórica.

La combinación entre AI + RA representa una sinergia metodológica prometedora. Mientras que la AI favorece la reorganización del aprendizaje hacia un enfoque activo y centrado en el estudiante, la RA potencia la comprensión visual e interactiva de los contenidos. Investigaciones recientes comienzan a explorar esta convergencia como una forma de enriquecer el aprendizaje conceptual en diversos niveles educativos (Bacca *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2023), aunque todavía son escasos los estudios que abordan esta integración en el nivel de bachillerato y en temáticas específicas como el torque.

El presente estudio analiza el impacto de una estrategia didáctica que integra AI + RA para la enseñanza del torque en estudiantes de bachillerato. Mediante un diseño cuasiexperimental se compararon los resultados de un grupo experimental y un grupo control, considerando tanto la percepción estudiantil como los resultados de aprendizaje. Esta investigación se inscribe en la búsqueda de propuestas pedagógicas innovadoras, orientadas a mejorar la comprensión conceptual en física mediante el uso pedagógico de tecnologías emergentes.

Marco teórico y antecedentes

Aula invertida en la enseñanza de las ciencias

El modelo de AI es una estrategia pedagógica que reorganiza el proceso de enseñanza-aprendizaje, trasladando la instrucción directa fuera del aula a través de recursos digitales y destinando el tiempo presencial a actividades colaborativas, resolución de problemas y construcción activa del conocimiento (Bergmann y Sams, 2012; Bishop y Verleger, 2013). Esta metodología ha mostrado efectos positivos en la motivación, la autonomía del estudiante, la participación activa y el desarrollo de habilidades de orden superior, especialmente en áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) (Lo y Hew, 2017; Lu *et al.*, 2023).

En el contexto de la enseñanza de la física, la AI permite que los estudiantes lleguen a clase con un conocimiento previo básico, lo que favorece el uso del tiempo en el aula para actividades experimentales, la discusión

de conceptos complejos y la resolución de situaciones problemáticas. La literatura reporta mejoras en la retención de conceptos abstractos, la participación y la percepción de utilidad de la asignatura (Mustapha y Abdullah, 2024).

Realidad aumentada en la física

La RA es una tecnología que permite superponer información digital (imágenes, videos, objetos 3D) sobre el entorno real, generando experiencias inmersivas e interactivas que enriquecen el proceso de aprendizaje (Azuma, 1997; Fiorella y Mayer, 2018). En educación, la RA ha sido utilizada con éxito en diversas áreas del conocimiento, promoviendo la visualización de conceptos difíciles, el aprendizaje significativo y la motivación (Bacca *et al.*, 2019; Hidayat y Wardat, 2024).

En física, la RA permite representar fenómenos que no pueden observarse directamente, como líneas de campo, trayectorias vectoriales o interacciones de fuerzas. Además, ofrece la posibilidad de manipular variables como la magnitud, la dirección y el punto de aplicación de una fuerza, lo que contribuye a una mejor comprensión del torque, la rotación y otros conceptos mecánicos complejos (de Koning *et al.*, 2018).

Sinergia entre aula invertida y realidad aumentada

Investigaciones recientes han comenzado a analizar cómo el uso integrado de metodologías activas y tecnologías inmersivas puede potenciar el aprendizaje en ciencias (Lu *et al.*, 2023; Paul *et al.*, 2023). Esta convergencia busca responder a los retos de la educación contemporánea, creando ambientes de aprendizaje más participativos, visuales y significativos.

La combinación de AI + RA permite que los estudiantes adquieran conocimientos previos desde casa (por medio de videos y guías interactivas), y que luego los apliquen en el aula mediante simulaciones aumentadas, lo cual promueve un aprendizaje experiencial y autónomo. Sin embargo, aún son escasos los trabajos que analizan esta combinación en contextos reales,

especialmente en la educación media y en temas tradicionalmente complejos como el torque. Por tanto, es necesario generar evidencia empírica que permita valorar su pertinencia y efectividad en estos niveles.

Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque mixto, con un diseño cuasiexperimental de grupos no equivalentes. Se buscó evaluar el impacto de una intervención pedagógica basada en la combinación del modelo de AI con RA sobre la comprensión conceptual del torque y la percepción estudiantil frente a la estrategia didáctica. La comparación se realizó entre un grupo experimental (que recibió la intervención) y un grupo control (que siguió la metodología tradicional).

El estudio se llevó a cabo en la institución educativa Román María Valencia, ubicada en Calarcá (Quindío, Colombia), con una muestra intencional de 66 estudiantes de grado undécimo (15 a 17 años). Los participantes fueron divididos en dos grupos:

- Grupo experimental ($n = 33$): implementó la estrategia de AI + RA desarrollada específicamente para la enseñanza del torque.
- Grupo control ($n = 33$): recibió enseñanza tradicional mediante clases magistrales, guías impresas y ejercicios.

La intervención en el grupo experimental se estructuró en tres fases:

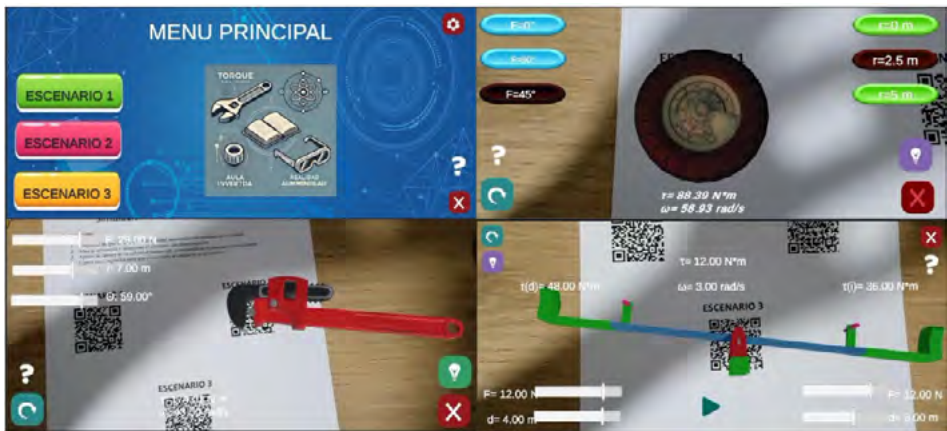
- Pre clase: los estudiantes exploraban desde casa la aplicación móvil de RA para observar y manipular modelos 3D interactivos.
- Clase presencial: desarrollo de actividades colaborativas, resolución de problemas con orientación docente y uso de la simulación RA en grupo.
- Post clase: aplicación de cuestionarios de autoevaluación y ejercicios de retroalimentación inmediata.

La simulación RA, como se muestra en la figura 1, desarrollada en Unity3D con Vuforia, permitía manipular variables como la magnitud, el ángulo y la distancia de aplicación de fuerzas sobre objetos rígidos en escenarios tridimensionales orientados al aprendizaje del torque.

Se emplearon dos tipos de instrumentos:

- Test conceptual de torque (pretest y postest): compuesto por 21 ítems de selección múltiple con única respuesta, validados por juicio de expertos y alfa de Cronbach.
- Cuestionario de percepción sobre el aula invertida, adaptado de Mendaña-Cuervo y López-González (2021), con 18 ítems en escala Likert de 1 a 5 puntos. Su fiabilidad fue verificada mediante Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.888$).

Figura 4.1 Collage de la aplicación de realidad aumentada diseñada para la enseñanza del concepto de torque.



Fuente: elaboración propia.

Dado que las pruebas de normalidad revelaron distribuciones mixtas, se emplearon tanto pruebas paramétricas como no paramétricas:

- Prueba U de Mann-Whitney para comparar los grupos en el postest.

- ANCOVA para evaluar el efecto de la intervención controlando los puntajes del pretest.
- Regresión lineal para identificar predictores de la percepción positiva.
- Estadística descriptiva para caracterizar la percepción y desempeño de los estudiantes.

Análisis y resultados

Resultados del postest: comparación entre grupos

Para evaluar el impacto de la intervención pedagógica basada en AI + RA, se compararon los puntajes del postest entre el grupo experimental y el grupo control. Dado que los datos no cumplieron completamente los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov $p = 0.010$ en el grupo experimental), se emplearon pruebas no paramétricas y ANCOVA para validar los hallazgos.

La prueba U de Mann-Whitney no mostró una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($U = 634.50$; $p = 0.24$), aunque el grupo experimental obtuvo puntuaciones ligeramente superiores. Posteriormente, se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA), considerando los resultados del pretest como covariable. Los resultados tampoco revelaron diferencias significativas ($F(1,59) = 2.590$; $p = 0.113$), pero el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) sugiere un impacto pequeño de la intervención en la comprensión del torque.

Según (Cohen, 2013), un η^2 cercano a 0.05 puede considerarse un efecto pequeño, pero educativo y pedagógicamente relevante, especialmente en entornos reales donde múltiples factores influyen en el aprendizaje.

Análisis del aprendizaje dentro de cada grupo

En el grupo control se utilizó una prueba t para muestras relacionadas que mostró una mejora leve, sin diferencias estadísticamente significativas entre el pretest y el postest. En cambio, en el grupo experimental, se aplicó la prueba de Wilcoxon, que sí reveló una mejora significativa ($p < 0.05$), lo que indi-

ca que la estrategia combinada de AI + RA favoreció el progreso conceptual dentro del grupo, aunque sin diferenciarlo claramente frente al grupo control.

Percepción estudiantil sobre la estrategia AI + RA

Los resultados del cuestionario de percepción mostraron una aceptación positiva de la metodología. Las medias más altas se observaron en los ítems "adecuación de la estrategia a la asignatura" ($M = 4.15$; $DE = 0.79$) y "percepción de mejora del aprendizaje" ($M = 4.09$; $DE = 0.63$). Las dimensiones "actitud" y "motivación" también fueron valoradas favorablemente (ambas con $M = 3.90$).

El Alfa de Cronbach obtenido fue 0.888, lo que indica una alta fiabilidad del instrumento. Además, las correlaciones de ítems con la escala total evidenciaron que la motivación ($r = 0.619$) y la actitud ($r = 0.596$) fueron los factores más influyentes en la percepción global.

Factores que influyen en la percepción positiva

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple con la percepción general como variable dependiente y cinco dimensiones como predictores: motivación, autonomía, esfuerzo, interacción con el docente y pensamiento crítico. Los resultados mostraron que el pensamiento crítico ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) y la motivación ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) fueron los principales predictores de una percepción favorable.

Otros factores, como la autonomía ($\beta = 0.21$, $p = 0.054$) y la interacción ($\beta = 0.15$, $p = 0.078$), mostraron tendencias positivas, aunque sin alcanzar una significancia estadística.

Discusión y conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que la combinación metodológica de AI + RA puede ser una estrategia didáctica prometedora para favorecer

la comprensión conceptual del torque en estudiantes de bachillerato. Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el postest entre el grupo experimental y el grupo control ($p = 0.113$), el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) indica una tendencia positiva hacia la intervención, con un impacto pequeño, pero relevante, desde una perspectiva pedagógica.

Al interior del grupo experimental, la mejora entre el pretest y el postest fue significativa ($p < 0.05$), lo que refuerza la utilidad del enfoque AI + RA para generar avances en el aprendizaje del torque. Esta mejora fue acompañada de una percepción estudiantil favorable, con medias superiores a 4.0 en ítems clave relacionados con adecuación, mejora del aprendizaje y motivación. El análisis de regresión mostró que el pensamiento crítico y la motivación fueron los principales predictores de una experiencia positiva, lo que sugiere que la estrategia contribuye no solo al rendimiento, sino también al compromiso y a la valoración del aprendizaje.

Desde una perspectiva educativa, estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan el valor de las metodologías activas y las tecnologías inmersivas en la enseñanza de ciencias (Bacca *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2023; Mustapha y Abdullah, 2024). La sinergia entre AI y RA parece crear un entorno de aprendizaje más dinámico, visual y participativo, que facilita la apropiación de conceptos abstractos como el torque, tradicionalmente difíciles de enseñar mediante estrategias convencionales.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones del estudio. Se trató de una intervención de corta duración, realizada en una única institución educativa, con una muestra limitada ($n = 66$). Por tanto, los resultados no pueden generalizarse a otros contextos sin evidencia adicional. Se requiere cautela al interpretar el impacto de la metodología, especialmente en relación con otros contenidos curriculares o niveles educativos.

Implicaciones pedagógicas y líneas futuras

Este estudio contribuye al conocimiento sobre el uso combinado del aula invertida y la realidad aumentada, particularmente en el área de la mecánica. Aunque sus hallazgos son preliminares, ofrecen una base para futuras

investigaciones que amplíen la muestra, prolonguen el tiempo de intervención y analicen el impacto en otras áreas de la física, como la dinámica o el electromagnetismo.

Se recomienda explorar la integración de estas metodologías con estrategias de aprendizaje colaborativo, evaluación auténtica y retroalimentación en tiempo real. Asimismo, sería valioso comparar el efecto de la RA con otras tecnologías educativas como laboratorios virtuales, simulaciones 2D o aprendizaje basado en juegos.

Créditos

Los resultados reflejados en este capítulo fueron posibles gracias al apoyo recibido por parte del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional mediante el programa de Proyectos de Investigación en el Programa Especial de Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP 20241158.

Referencias

- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Bacca, J., Baldiris, S., & Fabregat, R. (2019). Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. In *Australasian Journal of Educational Technology* (Issue 3). <http://piranya.udg.edu/quimica/files/TableOfFrameworksComparison.pdf>
- Bergmann, J., y Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. International society for technology in education.
- Bishop, J., y Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. 2013 ASEE Annual Conference & Exposition, 23–1200.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge.
- De Koning, B. B., Hoogerheide, V., y Boucheix, J.-M. (2018). Developments and Trends in Learning with Instructional Video. *Computers in Human Behavior*, 89, 395–398. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.055>
- Fiorella, L., y Mayer, R. E. (2018). What works and doesn't work with instructional video. *Computers in Human Behavior*, 89, 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.015>

- Hidayat, R., y Wardat, Y. (2024). A systematic review of augmented reality in science, technology, engineering and mathematics education. *Education and Information Technologies*, 29(8), 9257–9282.
- Lo, C. K., y Hew, K. F. (2017). A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: possible solutions and recommendations for future research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2>
- Lu, C., Xu, J., Cao, Y., Zhang, Y., Liu, X., Wen, H., Yan, Y., Wang, J., Cai, M., y Zhu, H. (2023). Examining the effects of student-centered flipped classroom in physiology education. *BMC Medical Education*, 23(1), 233.
- Mendaña-Cuervo, C., y López-González, E. (2021). Impacto de la clase invertida en la percepción, motivación y rendimiento académico de estudiantes universitarios. *Formación Universitaria*, 14(6), 97–108.
- Mustapha, M. Z., y Abdullah, N. (2024). The Effects of Flipped Classroom Teaching Method on Science Students’s Higher Order Thinking Skills, Engagement and Satisfaction. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(3s), 3389–3403.
- Paul, A., Leung, D., Salas, R. M. E., Cruz, T. E., Abras, C., Saylor, D., Gugliucciello, V., Nunn, J., Gamaldo, C. E., y Strowd, R. E. (2023). Comparative effectiveness study of flipped classroom versus online-only instruction of clinical reasoning for medical students. *Medical Education Online*, 28(1), 2142358.