 https://doi.org/10.24844/EM3702.10

Aprendiendo teoría de grafos a través del béisbol

Learning graph theory through baseball

María Luisa Rodríguez Arévalo,[1] Teudys Ramón Pérez Méndez,[2] Javier García Maimó[3]

Resumen: Este artículo presenta una intervención didáctica titulada *"Aprendiendo Teoría de Grafos a través del Béisbol"*, diseñada para abordar la falta de motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje de las matemáticas. Aprovechando la popularidad del béisbol, la intervención utilizó este deporte como un medio práctico y sencillo para introducir conceptos básicos de la Teoría de Grafos, buscando despertar el interés de los estudiantes. La intervención se realizó con 29 estudiantes de tercer curso de educación secundaria y fue evaluada a través de un cuestionario de satisfacción y las observaciones del docente anfitrión. Los resultados sugieren que integrar temas de interés personal, como el béisbol, es una estrategia prometedora para incentivar el aprendizaje de las matemáticas y hacerlas más atractivas para los estudiantes.

Palabras claves: *Teoría de Grafos, Educación Matemática, Béisbol, Innovación didáctica.*

Abstract: This study presents a didactic intervention titled *"Learning Graph Theory through Baseball"*, designed to address students' lack of motivation toward learning mathematics. Leveraging the popularity of baseball, the

Fecha de recepción: 6 de mayo de 2024. **Fecha de aceptación:** 1 de febrero de 2025.

[1] Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana, mariarodriguez@pucmm.edu.do, https://orcid.org/0000-0002-6831-0465

[2] Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana, teudys20@outlook.com

[3] Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana, jav.garcia@ce.pucmm.edu.do, https://orcid.org/0000-0003-4594-071X

intervention used this sport as a practical and straightforward means to introduce basic concepts of Graph Theory, aiming to spark students' interest. The intervention was conducted with 29 third-year secondary school students and evaluated through a satisfaction questionnaire and observations by the host teacher. The results suggest that integrating topics of personal interest, such as baseball, is a promising strategy to foster interest in mathematics and make it more engaging for students.

Keywords: *Graph Theory, Mathematics Education, Baseball, Didactic innovation.*

INTRODUCCIÓN

La falta de motivación en los estudiantes hacia el aprendizaje de las matemáticas ha despertado un creciente interés en la investigación educativa, evidenciando que factores motivacionales y emocionales influyen significativamente en la actitud y en el desarrollo de competencias en esta disciplina. Abín *et al.* (2020) destacan que el rendimiento en matemáticas depende de variables cognitivas, motivacionales y emocionales, como la autoeficacia y las emociones positivas. Hannula, M.S. (2006) y Schukajlow *et al.* (2017) resaltan la importancia del interés genuino y las emociones para fomentar el compromiso y el éxito académico. Estudios como los de Becerra-González y Reidl (2015) y Villamizar Acevedo *et al.* (2020) identifican la ansiedad y las creencias sobre el éxito académico como factores clave en la motivación para aprender matemáticas. Además, Trías Seferian *et al.* (2024) enfatizan la relevancia de la autorregulación emocional y metacognitiva para mejorar el compromiso y los resultados académicos.

Además de los factores emocionales y motivacionales, las estrategias docentes son clave en la motivación estudiantil hacia las matemáticas. Ricoy y Couto (2018) y Castro-Velásquez y Rivadeneira-Loor (2022) destacan que la falta de contextualización de los contenidos influye en la motivación de los estudiantes por aprender esta materia. En esta línea, Muñoz *et al.* (2015) señalan que la percepción de irrelevancia en los contenidos genera desmotivación por las matemáticas entre los estudiantes, mientras que, Corredor-García y Bailey-Moreno (2020) afirman que metodologías de enseñanza que conectan las matemáticas con la vida cotidiana tienen un impacto positivo. Esta falta de estrategias didácticas contextualizadas dificulta que los estudiantes desarrollen una conexión significativa con las matemáticas. Por ello, autores como Corbalán (1995) y Nimier (2007) han trabajado en la divulgación matemática, ofreciendo herramientas para acercar la disciplina a situaciones cotidianas y responder preguntas como "¿para qué sirven las matemáticas?", ayudando a superar su carácter abstracto.

En este contexto, surge la pregunta: ¿cómo se puede despertar el interés de los estudiantes de secundaria hacia las matemáticas mediante temas que les resulten cercanos y relevantes? Una posible respuesta se encuentra en el béisbol, un deporte ampliamente popular en Estados Unidos y América Latina, cuyas jugadas estratégicas pueden ser relacionadas con las matemáticas a través de la Teoría de Grafos. Esta rama de las matemáticas estudia las propiedades de los grafos y tiene aplicaciones significativas en el análisis de redes, de datos y en la optimización de recursos. Aunque la Teoría de Grafos es un área avanzada, su relación con el béisbol puede hacerla sencilla y relevante para los estudiantes, conectando conceptos matemáticos abstractos con situaciones de su vida cotidiana y aumentando el interés por la disciplina.

Este artículo tiene como objetivo invitar a docentes e investigadores a fomentar la motivación y el interés de los estudiantes de educación secundaria por las matemáticas mediante una intervención didáctica que vincula la Teoría de Grafos con el béisbol. Además, se busca proporcionar herramientas para introducir de manera sencilla e intuitiva conceptos básicos de esta teoría, de modo que los estudiantes puedan conocer esta importante rama matemática de forma divertida.

ANTECEDENTES

La educación matemática ha enfrentado desafíos importantes en términos de motivación entre los estudiantes. Tradicionalmente, los conceptos matemáticos se han presentado de manera abstracta, lo que dificulta que los estudiantes perciban su relevancia en contextos reales. Diversos estudios han explorado métodos alternativos para mejorar la enseñanza de las matemáticas, integrando temas de interés personal y actividades prácticas. Un enfoque notable ha sido la integración de la música en la enseñanza de conceptos matemáticos, como lo demostraron Silva *et al.* (2023) y Luengo, G. *et al.*, (2024), quienes encontraron que los estudiantes mostraban una mayor motivación y comprensión cuando las matemáticas se relacionaban con la música. De manera similar, Tokac *et al.* (2019), White y McCoy (2019) y Álvarez-Rey y Muñiz-Rodríguez (2023), utilizaron juegos de estrategia y recursos lúdicos para enseñar matemáticas, observando que un alto porcentaje de estudiantes no solo comprendía mejor los conceptos, sino que también mostraba un interés renovado en la materia.

Otro enfoque innovador ha sido el uso de herramientas tecnológicas en la educación matemática. Ali *et al.* (2023) realizaron una revisión sistemática que destaca el impacto positivo de la integración de la tecnología en la motivación y el rendimiento de los estudiantes en matemáticas. Pumacallahui *et al.*, (2021) concluyeron que la integración de herramientas tecnológicas como GeoGebra tiene un impacto positivo en el aprendizaje, destacando que este tipo de software no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también aumenta la motivación y el interés de los estudiantes por la materia.

Diversos autores han explorado estrategias para hacer la Teoría de Grafos más sencilla y atractiva para los estudiantes, vinculando conceptos abstractos con situaciones cotidianas. Fernández *et al.* (2010) destacan el uso de laberintos y recorridos para comprender propiedades de los grafos de manera lúdica. De manera similar, Contreras-Beltrán *et al.* (2013) emplean la teoría de "los seis grados de separación" para ilustrar conexiones sociales a través de redes. En otra línea, Núñez *et al.* (2016) exploran cómo los grafos pueden ser introducidos mediante juegos interactivos que facilitan el aprendizaje de las estructuras de redes y conexiones. Finalmente, Bernal *et al.* (2018) proponen ejemplos prácticos de conexiones en redes de transporte y logística para visualizar aplicaciones reales de los grafos.

METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo de este estudio, se llevó a cabo una intervención didáctica en forma de clase expositiva interactiva, donde el profesor utilizó ejemplos del béisbol para explicar conceptos básicos de la Teoría de Grafos. Este enfoque, que combina explicaciones con estrategias participativas, mejora la comprensión y retención del aprendizaje (Bligh, 1998; Freeman *et al.*, 2014; Prince, 2004). Además, el uso de contextos familiares como el béisbol facilita la comprensión de conceptos abstractos y aumenta la motivación al conectar el aprendizaje con experiencias previas (Bransford *et al.*, 2000; Posamentier y Smith, 2010).

Para el diseño de la intervención didáctica, se simplificaron los conceptos fundamentales de la Teoría de Grafos y se crearon ejemplos prácticos relacionados con el béisbol, facilitando su comprensión de manera intuitiva. Los conceptos seleccionados se presentaron de manera que ilustraran su aplicación en situaciones del béisbol, permitiendo a los estudiantes visualizar y entender las ideas abstractas de la teoría de forma concreta. Los conceptos utilizados fueron: definición de grafo, orden y tamaño, subgrafo, grado de un vértice, grafo simple y multigrafo, grafo dirigido y conexo y diagrama de Voronoi.

Participantes, temporalización y recursos utilizados

La intervención didáctica se implementó durante una sesión de dos horas con un grupo de 29 estudiantes pertenecientes al tercer curso del nivel de educación secundaria del centro educativo Colegio Parroquial San José Patrocinio ubicado en Santo Domingo de Guzmán, República Dominicana. Para su implementación en el aula, se utilizaron recursos tecnológicos como PowerPoint y GeoGebra. Con respecto a los recursos físicos, la dirección del centro educativo facilitó el aula de tercero de secundaria.

Evaluación de la intervención

Evaluar el impacto de la intervención didáctica es esencial para determinar su efectividad y realizar mejoras en futuras implementaciones. Para ello, se emplearon dos instrumentos: un cuestionario de satisfacción y la observación del docente anfitrión.

El cuestionario de satisfacción se diseñó para evaluar la motivación e interés de los estudiantes tras la intervención didáctica. La motivación, entendida en este contexto como el impulso para comprometerse con el aprendizaje, puede ser intrínseca, cuando el interés proviene del placer de la actividad, o extrínseca, cuando depende de factores externos como recompensas. En este caso, el enfoque fue la motivación intrínseca, buscando generar interés en los estudiantes a través de un contexto familiar y relevante como el béisbol. El cuestionario incluyó cinco ítems para evaluar la relevancia del contenido, el interés personal y la claridad de los conceptos, factores clave para fomentar el compromiso y la motivación (Deci y Ryan, 2000; Hidi y Renninger, 2006). A continuación, se describen los ítems y las dimensiones que buscaban explorar:

- Ítem 1: *Me siento motivado a aprender más sobre Teoría de Grafos o matemáticas después de esta exposición.*
  Este ítem evaluaba la disposición de los estudiantes a seguir explorando temas matemáticos, lo cual está vinculado con la motivación para el

aprendizaje futuro. Según Deci y Ryan (2000), la motivación intrínseca se refleja en el deseo de continuar participando en actividades relacionadas con el tema.

- Ítem 2: *Siento que el vínculo entre matemáticas y béisbol me ayudó a valorar más el estudio de las matemáticas.*
  Este ítem medía la relevancia percibida del contexto interdisciplinario, ya que vincular conceptos abstractos con temas significativos aumenta el interés de los estudiantes. Según Hidi y Renninger (2006), integrar intereses personales en el aprendizaje fomenta una percepción positiva del contenido y refuerza la motivación intrínseca.

- Ítem 3: *Los ejemplos y analogías utilizados durante la exposición fueron claros.*
  Este ítem evaluaba la claridad percibida de los recursos didácticos, un aspecto clave para garantizar que los estudiantes encuentren los ejemplos no solo interesantes, sino también comprensibles. Según Mayer (2002), una presentación clara mejora la experiencia de aprendizaje y refuerza la motivación.

- Ítem 4: *Me gustaría participar en más actividades que relacionen las matemáticas con temas que me interesen.*
  Este ítem evaluaba la aceptación de enfoques interdisciplinarios como estrategia motivacional, alineándose con el interés de los estudiantes por conectar las matemáticas con áreas de su interés. Según Renninger (2000) esta conexión puede generar un interés duradero por las matemáticas.

- Ítem 5: *Recomendaría esta exposición a otros estudiantes que estén aprendiendo Teoría de Grafos.*
  Este ítem evaluaba la percepción del valor general de la intervención, reflejando la satisfacción de los estudiantes y su consideración de la actividad como significativa para compartirla. Según Deci y Ryan (2000), una evaluación positiva indica un alto nivel de motivación intrínseca.

Los resultados del cuestionario se analizaron utilizando una escala Likert con cuatro opciones de respuesta: “muy de acuerdo”, “bastante de acuerdo”, “poco de acuerdo” y “nada de acuerdo” (Likert, 1932). Esta escala permitió identificar patrones en las opiniones de los estudiantes sobre la intervención didáctica. El cuestionario se entregó al finalizar la exposición, tras explicar su contenido y garantizar la sinceridad y anonimato de las respuestas. También se solicitó a los estudiantes que firmaran un consentimiento informado, asegurando el uso académico y anónimo de los datos.

El segundo instrumento utilizado fue la observación del docente anfitrión, quien, actuando como observador, proporcionó una evaluación cualitativa del comportamiento y actitud de los estudiantes durante la intervención. Según O'Leary (2020), la observación es una técnica eficaz para recopilar datos en contextos naturales, lo que permite obtener información rica y contextualizada sobre el impacto real de la intervención en el aula. Esta observación complementó la evaluación cuantitativa proporcionada por el cuestionario, brindando una visión más completa del impacto de la exposición activa en el interés y el aprendizaje de los estudiantes.

APRENDIENDO TEORÍA DE GRAFOS A TRAVÉS DEL BÉISBOL

En esta sección se presenta la exposición realizada en la intervención didáctica titulada "Aprendiendo Teoría de Grafos a través del Béisbol". El béisbol es un deporte de estrategias y el análisis de estas es de suma importancia para los equipos. La Teoría de Grafos, a través de su representación minimalista, es de gran utilidad para realizar un seguimiento y un análisis de las jugadas y de la relación entre jugadores para poder obtener estrategias eficientes que logren cumplir con el objetivo del equipo.

El béisbol es un deporte entre dos equipos de nueve jugadores cada uno, que alternan entre posiciones ofensivas y defensivas. El objetivo del equipo ofensivo es anotar carreras, corriendo por las cuatro bases del campo, mientras que el equipo defensor busca eliminar al contrario con "outs". Un "out" ocurre cuando un jugador es eliminado, impidiendo su avance hacia las bases. Existen "outs" simples y situaciones especiales como el "Doble Play" o "Triple Play", donde se eliminan varios jugadores en una jugada. El equipo que anote más carreras y consiga al menos 27 "outs" gana.

A continuación, analizamos diferentes jugadas que pueden ocurrir durante un partido de béisbol y cómo pueden ser relacionadas con los conceptos básicos de la Teoría de Grafos.

Grafo, orden y tamaño

La figura 1 muestra un campo de béisbol donde los jugadores del equipo que juega a la defensiva están representados en color azul y los jugadores del equipo a la ofensiva en rojo. El lanzador está ubicado en el centro del campo, representado por el punto A, mientras que el bateador del equipo contrario se encuentra en la caja de bateo, señalada con el punto B. Los demás jugadores del equipo defensor están posicionados en distintas áreas del campo representados por puntos en color azul. Supongamos una jugada donde el lanzador A envía la pelota hacia el bateador B, quien la batea hacia el jugador E. Este jugador E recibe la pelota y, rápidamente, la lanza al jugador C, completando así la secuencia de la jugada. Las líneas que conectan estos puntos ilustran el recorrido de la pelota durante la jugada, destacando las interacciones entre los jugadores. Si eliminamos la representación del campo de béisbol podemos observar la representación de la jugada en forma de grafo.

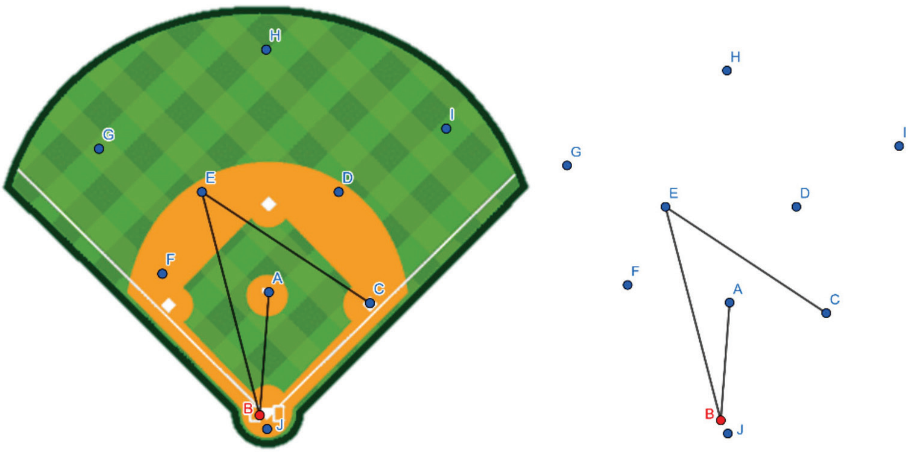


Figura 1: Ejemplo de jugada de béisbol y su representación en forma de grafo.

Concretamente, un grafo se define como una colección de puntos llamados vértices que se encuentran unidos por líneas o arcos llamadas aristas. Un grafo se denota matemáticamente por $G = (V, E)$ donde V es el conjunto de puntos y E es el conjunto de aristas.

En el caso anterior, si nos centramos en el grafo que representa el recorrido de la pelota, se obtiene el grafo que se muestra en la figura 2 (se ha cambiado la notación del punto E por K para evitar confusión con el conjunto E que denota las aristas).

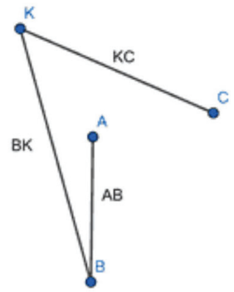


Figura 2: Grafo $G = (V, E)$.

En este caso, el conjunto de vértices del grafo $G = (V, E)$ está formado por los puntos $V(G) = \{A, B, K, C\}$ y el conjunto de aristas está formado las líneas que unen los puntos $E(G) = \{\{AB\}, \{BK\}, \{KC\}\}$.

Adicionalmente, el orden y el tamaño de un grafo se definen como el número de vértices y de aristas que tiene el grafo, respectivamente. Si observamos el grafo G, se puede deducir que el orden es $n(G) = 4$ y el tamaño es $m(G) = 3$.

Subgrafo

La anotación de las estrategias durante un juego de béisbol involucra a los jugadores que tuvieron acción en la jugada después de que la pelota es bateada. En la jugada considerada anteriormente, los jugadores implicados fueron los que se encontraban en la posición E y C (figura 1). En este caso, la anotación de esta jugada puede ser representada como un grafo H que se obtiene del grafo G considerado en el ejemplo anterior, eliminando algunos de sus vértices y aristas (figura 3).

Figura 3: Subgrafo $H = (V', E')$ en la jugada de béisbol.

En Teoría de Grafos esta situación se define como un subgrafo. Un grafo $H = (V', E')$ se denomina subgrafo del grafo $G = (V, E)$ si los vértices y las aristas de H están contenidos en los vértices y en las aristas de G, es decir, si $V' \subseteq V$ y $E' \subseteq E$.

Grado de un vértice

Imaginamos ahora una situación común en un juego real de béisbol que da lugar a una jugada conocida como "Doble Play". En la jugada mostrada en la figura 4, el lanzador en el punto A envía la pelota al bateador K, quien la batea hacia el jugador en la tercera base F. Este jugador atrapa la pelota y la pasa al jugador en la posición D, quien a su vez la envía al jugador en la posición C. Al observar el recorrido de la pelota después de ser bateada, esta jugada puede anotarse como "Doble Play F − D − C" y representarse como un grafo donde los vértices $\{F, D, C\}$ indican las posiciones de los jugadores que intervienen en la jugada y las aristas $\{\text{FD}, \text{DC}\}$ muestran el trayecto de la pelota después de ser bateada resultando en un "out".

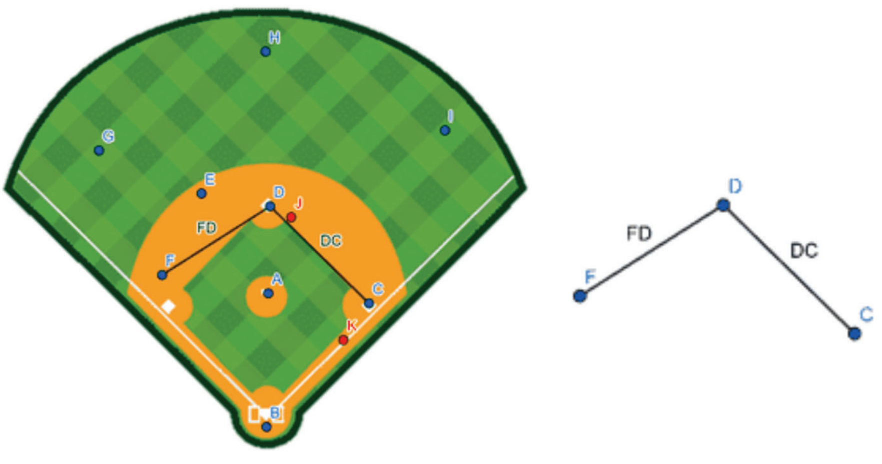


Figura 4: Jugada de Doble Play F − D − C y su representación como grafo.

Si observamos el grafo representado en la Figura 4, se puede conocer el número de "outs" en el que ha estado involucrado cada jugador. Por ejemplo, el jugador D, ha estado involucrado en dos "outs", uno con el jugador J y otro con el jugador K.

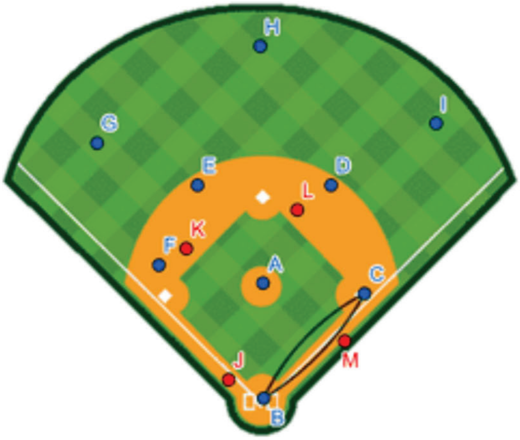
Usando la terminología de Teoría de Grafos, el número de “outs” en el que está involucrado un jugador se puede representar como el grado de un vértice. El grado de un vértice de un grafo se define como el número de aristas que lo contienen y se denota por $deg(V)$. En el caso del vértice D, su grado es $deg(V) = 2$, es decir, el jugador que se encuentra en la posición D ha sido involucrado en dos “outs”.

De este modo, la representación de las jugadas como grafos pueden ser útiles para un entrenador para anotar cuál es la mayor combinación de “outs” del equipo contrario y así tener un mejor rendimiento en su equipo colocando de forma eficiente a sus jugadores dentro del campo.

Grafo simple y multigrafo

Los grafos pueden ser clasificados como un grafo simple o como un multigrafo. Un grafo simple es un tipo de grafo que no incluye ciclos ni aristas paralelas. Por otro lado, un multigrafo es un grafo con dos o más aristas que pueden conectar a un mismo vértice. Las jugadas expuestas anteriormente han sido representadas por grafos simples. A continuación, veremos una jugada que puede ser representada por un multigrafo.

Imaginamos una jugada donde las bases están llenas por los corredores L, K y J. El bateador representado por el punto M realiza un toque de bola por el suelo que es atrapada por el jugador en el punto B, quien la lanza al jugador C en la primera base para lograr el primer “out”. Este a su vez lanza la pelota al jugador B nuevamente para lograr el segundo “out”. En esta jugada tanto el jugador B como el jugador C están involucrados en la defensiva de los dos “out”. Así, esta jugada puede ser anotada como “Doble Play B − C − B” y representada por el multigrafo que se muestra en la figura 5.



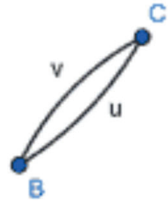


Figura 5: Jugada de Doble Play B − C − B y su representación como grafo.

Grafo dirigido

Si observamos el grafo en la figura 5, se puede confundir la forma en la que sucedió la jugada debido a que podría ser iniciada desde el jugador C y terminar en el mismo C o iniciar en el jugador B y terminar en el B. Por ello, en algunas ocasiones es útil que las aristas muestren alguna dirección. En este caso, la arista que une los puntos B y C podría denotarse como una arista dirigida $\overrightarrow{(BC)}$ indicando que la pelota fue dirigida desde el punto B hasta el punto C. Este tipo de grafos que contienen aristas dirigidas se llaman grafos dirigidos. Por tanto, la jugada denotada anteriormente por "Doble Play B − C − B" puede ser representada por el grafo dirigido que se muestra en la figura 6.

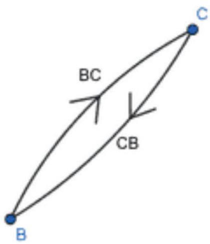


Figura 6: Grafo dirigido que representa la jugada Doble Play B − C − B.

Los grafos dirigidos también pueden representar jugadas más complejas en el béisbol como una de "Triple Play". Un ejemplo destacado es el célebre "Triple Play" ejecutado por los Yankees de Nueva York en su enfrentamiento contra los Atléticos de Oakland en 2021. La jugada comienza cuando el bateador, representado por el punto Q, realiza un golpe que hace que la pelota ruede hacia el jugador de la tercera base en el punto A, este pisa la base para registrar el primer "out" y luego lanza la pelota al jugador de la segunda base en la posición B, quien la atrapa y consigue el segundo "out". Finalmente, el jugador de segunda base pasa la pelota al jugador en la primera base en la posición C, completando así la jugada de "Triple Play" en la que los tres jugadores son eliminados en una secuencia.

En esta ocasión, para representar esta jugada con un grafo es necesario tener en cuenta que el primer jugador hizo un "out" sin la asistencia de otro jugador. Para poder representar esta primera parte de la jugada se debe definir el concepto de bucle o lazo. Un bucle o lazo en un grafo es una arista que relaciona al mismo vértice, es decir, una arista donde el vértice inicial y el vértice final coinciden.

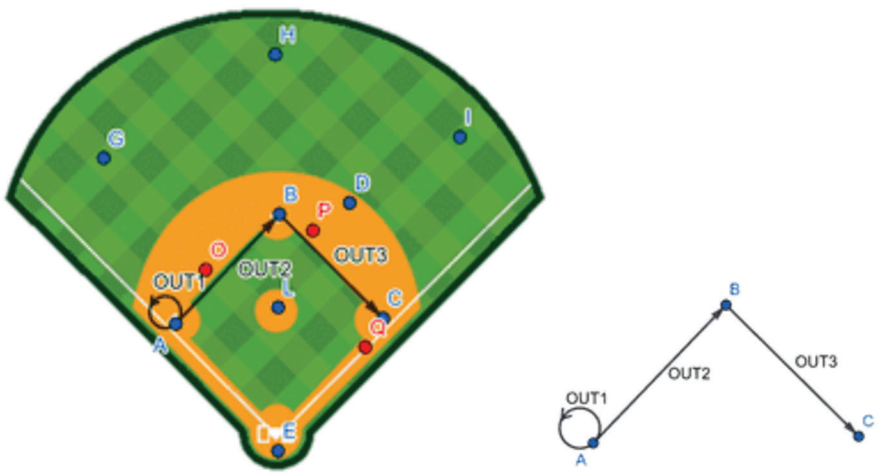


Figura 7: Jugada de "Triple Play A – A – B – C" y su representación como grafo dirigido.

Aplicando el concepto de bucle y de arista dirigida, el grafo mostrado en la figura 7 representa la jugada donde, en primer lugar, el jugador ocupando el vértice A hace el primer "out" con él mismo en la tercera base. Luego, el mismo jugador

A lanza la pelota al jugador B que se encuentra en la segunda base y realizan el segundo "out". Para finalizar la jugada de "Triple Play", el jugador B de la segunda base lanza la pelota al jugador C de la primera base para así lograr el tercer "out".

Grafo conexo: Relación entre el Pitcher Plinko y la Teoría de Grafos

A continuación, consideramos la representación visual y analítica que ofrece la herramienta Pitcher Plinko disponible en la página web de Baseball Savant (MLB Advanced Media, LP). Esta herramienta permite analizar las decisiones estratégicas de un lanzador al mostrar cómo se distribuyen sus lanzamientos según los conteos de bolas y strikes, además de evaluar los resultados obtenidos frente a los bateadores. Esta información se puede relacionar directamente con la Teoría de Grafos, donde los conteos y las transiciones entre ellos se representan como vértices y aristas, respectivamente, formando un grafo que muestra el comportamiento del lanzador en un turno al bate.

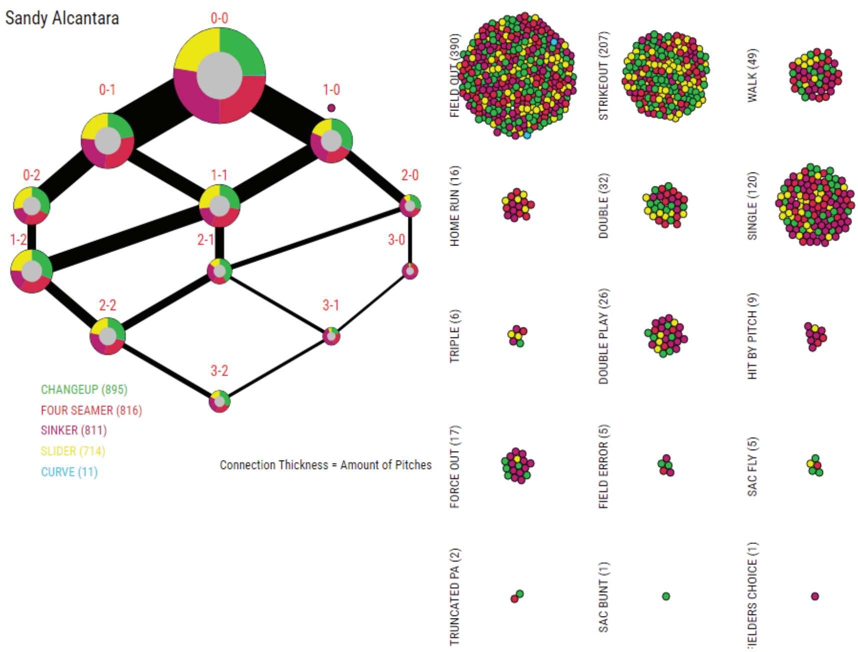


Figura 8: Modelo de Pitcher Plinko para Sandy Alcántara.
Fuente: Baseball Savant. MLB Advanced Media, LP.

En la figura 8, se observa el análisis del Pitcher Plinko para el jugador Sandy Alcántara. Cada nodo circular representa un conteo específico de bolas y strikes, como 0-0, 0-1 o 1-1, y su distribución de lanzamientos está codificada por colores según el tipo de lanzamiento: changeup (verde), four seamer (rosado), sinker (morado), slider (amarillo) y curve (azul). Por ejemplo, el changeup fue el lanzamiento más utilizado por Alcántara con 895 envíos, seguido por la recta four seamer con 816. Estos lanzamientos están distribuidos en cada conteo, siendo 0-0 el nodo más grande, ya que representa el inicio de todos los turnos, y las líneas conectando los nodos indican las transiciones entre conteos. El grosor de estas líneas refleja la frecuencia de dichas transiciones. Por ejemplo, las conexiones desde 0-0 hacia 0-1 o 1-0 son las más gruesas, ya que representan los lanzamientos iniciales más comunes.

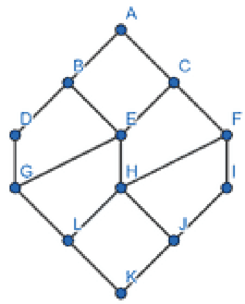


Figura 9: Grafo asociado al Pitcher Plinko de Sandy Alcántara.

En la figura 9, se presenta un grafo abstracto que modela las transiciones entre conteos en el Pitcher Plinko de Sandy Alcántara. Cada vértice del grafo representa un estado de conteo, mientras que las aristas indican las posibles progresiones entre estos estados. Por ejemplo, la conexión entre los vértices A y B representa la transición de 0-0 a 0-1, equivalente a una de las rutas más comunes observadas en la figura 8. Este tipo de grafo cumple la característica de ser un grafo conexo. Por definición, un grafo conexo es aquel en el que todos sus vértices están conectados, es decir, hay un camino que une cualquier par de vértices. Por tanto, este grafo conexo permite que cualquier conteo inicial conduzca a cualquier conteo final dentro de un turno, dependiendo de las decisiones del lanzador y las acciones del bateador. Por ejemplo, para ir desde el vértice A al vértice H hay diferentes caminos que se pueden recorrer, como A-B-E-H o A-C-F-H, entre otros. Estos caminos representan las diferentes combinaciones de conteos que un lanzador enfrenta y las decisiones que toma al adaptarse a las circunstancias de cada turno. La relación entre ambas figuras destaca cómo la Teoría de Grafos permite abstraer y analizar los patrones estratégicos del lanzador. Mientras la figura 8 proporciona un análisis visual detallado, la figura 9 sintetiza esta información en un grafo que facilita el estudio de las trayectorias posibles dentro de un turno.

Adicionalmente, los grafos pueden utilizarse para profundizar aún más en el análisis de la herramienta Pitcher Plinko, no solo en las transiciones entre conteos, sino también en los resultados de los lanzamientos y su impacto en el juego. La figura 8 muestra un análisis detallado de los lanzamientos de Alcántara, destacando que permitió 16 jonrones con tipos de lanzamiento como four seamer, sinker y slider, mientras que los lanzamientos más efectivos para evitar cuadrangulares fueron el changeup y la curve. Esta información podría integrarse en el grafo como pesos en los vértices y aristas, lo que permitiría optimizar decisiones estratégicas basadas en los riesgos y beneficios de cada tipo de lanzamiento.

Diagrama de Voronoi aplicado al béisbol

En el béisbol, es fundamental que los jugadores tengan un claro entendimiento del terreno de juego bajo su dominio, es decir, de las áreas donde cada jugador es el responsable de interceptar una pelota en movimiento. Esta distribución estratégica del terreno es crucial para coordinar una defensa eficiente y minimizar errores. Para modelar matemáticamente estas áreas de influencia, el concepto geométrico de Diagrama de Voronoi resulta especialmente útil.

Un diagrama de Voronoi divide un espacio en regiones basadas en la proximidad a un conjunto de puntos. En este caso, los puntos representan las posiciones de los jugadores en el campo. La construcción de estas regiones se realiza trazando mediatrices entre los puntos más cercanos, creando fronteras que delimitan el área de influencia de cada jugador (Úbeda *et al.*, 2017). Cada región contiene todos los puntos del terreno que están más cerca de un jugador específico que de cualquier otro.

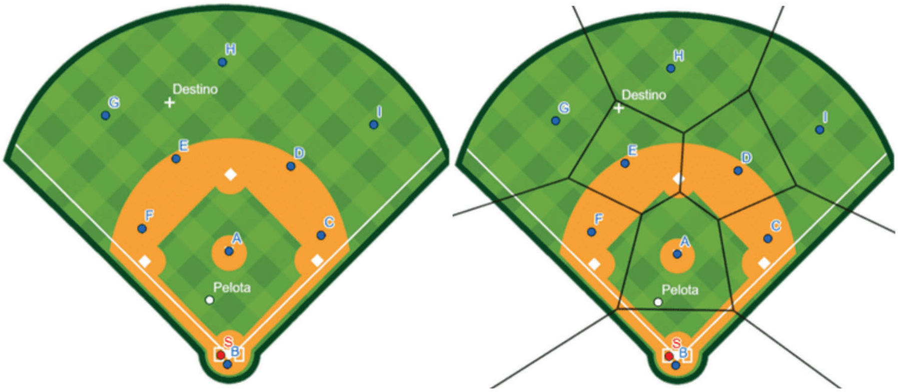


Figura 10: Diagrama de Voronoi del terreno de juego en béisbol.

En la figura 10, se muestra un ejemplo del terreno de juego dividido en regiones mediante un diagrama de Voronoi. Supongamos que los jugadores están ubicados en sus respectivas posiciones defensivas, y la pelota es bateada hacia un destino específico dentro del campo, indicado en la figura con una cruz. Al observar el punto donde caerá la pelota, notamos que los jugadores en las posiciones G, E y H parecen ser los más cercanos al destino. Sin embargo, ¿cuál de ellos tiene mayor probabilidad de atrapar la pelota?

Aquí es donde el diagrama de Voronoi ofrece una herramienta visual y analítica para resolver esta pregunta. Según la división del terreno, el destino de la pelota está dentro de la región asociada al jugador en la posición E. Esto indica que E es el jugador más cercano y, por lo tanto, el que tiene mayor probabilidad de interceptar la pelota. De esta manera, el diagrama no solo proporciona un análisis geométrico del terreno, sino que también refuerza la importancia de la ubicación precisa de los jugadores para una defensa eficaz.

El uso de diagramas de Voronoi en el béisbol, permite a los entrenadores y analistas evaluar cómo optimizar las posiciones defensivas para cubrir mejor el terreno. Por ejemplo, se podría ajustar la ubicación de los jugadores para equilibrar las áreas de dominio y reducir huecos vulnerables en el campo.

ANÁLISIS DE LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

Esta sección analiza la intervención didáctica realizada a partir de las respuestas de los estudiantes en un cuestionario de satisfacción y la observación realizada por el docente anfitrión. Los resultados reflejan una percepción positiva, evidenciando que los estudiantes encontraron la actividad motivadora y relevante. Adicionalmente, el testimonio del docente anfitrión destacó la activa participación de los estudiantes, señalando que la exposición realizada despertó el interés y curiosidad en ellos por seguir explorando el tema.

A continuación, se presenta un análisis detallado de ambas herramientas de evaluación, destacando los hallazgos principales.

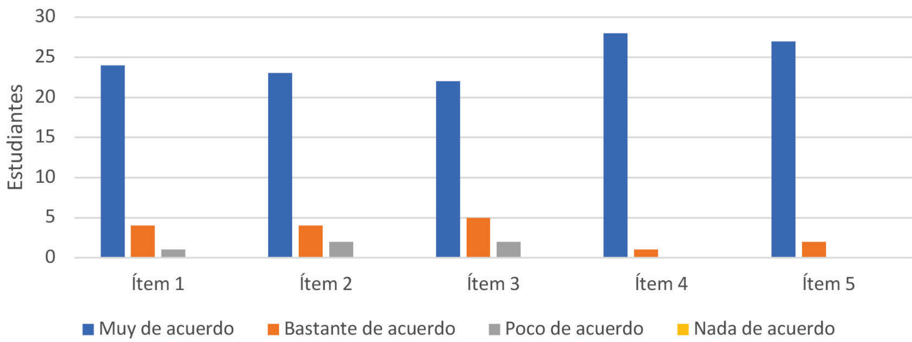


Figura 11: Resultados del cuestionario realizado a los estudiantes.

Los resultados de la encuesta mostrados en la figura 11, revelan una fuerte aceptación y satisfacción de los estudiantes con la exposición realizada. En el primer ítem, *Me siento motivado a aprender más sobre Teoría de Grafos o matemáticas después de esta exposición*, 83% de los estudiantes (24 de 29) se sintieron estar muy de acuerdo con que la intervención didáctica los motivó a querer aprender más sobre matemáticas, mientras que 14% restante (4 de 29) estuvo bastante de acuerdo. Esto indica que la intervención didáctica logró el objetivo principal de motivar a los estudiantes por el aprendizaje de las matemáticas a través de un enfoque innovador y relevante. Solo hubo una respuesta en la categoría estar poco de acuerdo y ninguna en la de estar nada de acuerdo, lo que refuerza la efectividad de la actividad para despertar el interés de los estudiantes hacia las matemáticas.

En cuanto a la percepción que tuvieron los estudiantes sobre el vínculo entre los conceptos matemáticos y el béisbol, las respuestas al segundo ítem *Siento que el vínculo entre matemáticas y béisbol me ayudó a valorar más el estudio de las matemáticas*, mostraron que 79% de los estudiantes (23 de 29) estuvieron muy de acuerdo en que el vínculo los ayudó a valorar el estudio de esta ciencia. Esto sugiere que el uso de ejemplos prácticos y contextos familiares para los estudiantes, puede ser una estrategia poderosa para despertar el interés en el aprendizaje de las matemáticas.

Los resultados del cuestionario también destacaron la claridad de los ejemplos utilizados, con 76% de las respuestas de los estudiantes (22 de 29) en la categoría estar muy de acuerdo, y 17% (5 de 29) en estar bastante de acuerdo, en respuesta al tercer ítem *Los ejemplos y analogías utilizados en la exposición fueron claros*, lo que subraya la importancia de una enseñanza con un lenguaje sencillo y contextualizado.

Finalmente, las respuestas a las preguntas sobre la participación en futuras actividades y la recomendación de la exposición a otros estudiantes fueron igualmente positivas. En el cuarto ítem, *Me gustaría participar en más actividades que relacionen las matemáticas con temas que me interesen,* sobre el interés en participar en actividades similares, el 97% de los estudiantes (28 de 29) estuvieron muy de acuerdo en participar en actividades que relacionen las matemáticas con temas que les resulten interesantes. En términos de recomendación, en las respuestas de los estudiantes al sexto ítem, *Recomendaría esta exposición a otros estudiantes que estén aprendiendo Teoría de Grafos,* 93% (27 de 29) recomendarían la exposición a otros estudiantes. Estos resultados indican no solo una alta satisfacción con la intervención didáctica realizada, sino también un interés significativo en la continuidad de este enfoque educativo.

Por otro lado, se recogió el testimonio del docente que participó como observador en la exposición, quien expresó su sorpresa y satisfacción con la participación de los estudiantes, comentando textualmente: "Me sorprendió lo involucrados que estuvieron los estudiantes. Es interesante ver cómo responden cuando pueden relacionar los conceptos abstractos con algo tangible y familiar para ellos. A pesar de la dificultad del contenido para su nivel académico, han respondido de manera satisfactoria durante todo el taller y han mostrado interés en seguir investigando sobre el tema tratado. Estoy agradecido de que hayas traído una perspectiva fresca y efectiva a nuestra clase. Creo firmemente en usar métodos que despierten esa curiosidad y ganas de aprender, y este taller fue un excelente ejemplo de eso". Este testimonio resalta la efectividad del enfoque utilizado en la intervención didáctica y el impacto positivo que tuvo en los estudiantes, reforzando la importancia de metodologías innovadoras en la educación matemática.

CONCLUSIÓN

En este artículo se ha demostrado cómo es posible ilustrar definiciones básicas de la Teoría de Grafos a partir de situaciones reales que ocurren en un juego de béisbol. Los resultados de este estudio destacan una respuesta positiva de los estudiantes hacia la intervención didáctica, subrayando el impacto motivador de vincular las matemáticas con temas de interés personal, como el béisbol. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que demuestran que integrar temas cercanos a los estudiantes, como la música (Silva *et al.*, 2023; Luengo *et al.*, 2024), los juegos de estrategia (Tokac et al, 2019; White y McCoy, 2019), o la tecnología (Ali *et al.*, 2023; Pumacallahui *et al.*, 2021), puede aumentar su motivación e interés por las matemáticas. Estos estudios sugieren que el vínculo entre los temas elegidos y los conceptos matemáticos es clave para mejorar el aprendizaje y la motivación en contextos educativos diversos. Nuestro estudio refuerza esta idea, al mostrar cómo el béisbol puede ser una herramienta eficaz para enseñar matemáticas y fomentar el interés de los estudiantes por esta disciplina.

A partir de los resultados obtenidos y la comparación con estudios similares, emergen varias recomendaciones para futuras intervenciones que integren conceptos matemáticos con temas de interés personal. Primero, diversificar los temas, como deportes, música, tecnología y juegos de estrategia, entre otros, para atraer la atención de un público más amplio y despertar el interés por las matemáticas. Segundo, priorizar la claridad en los ejemplos y analogías utilizados, complementándolos con actividades prácticas y demostraciones. Tercero, promover la participación activa de los estudiantes mediante dinámicas interactivas y discusiones grupales que fomenten el intercambio de ideas. Finalmente, incorporar herramientas tecnológicas que enriquezcan la experiencia y la hagan más atractiva. Siguiendo estas recomendaciones, las futuras intervenciones didácticas podrán mantener y superar los niveles de motivación y satisfacción alcanzados en este estudio, adaptándose continuamente a las necesidades e intereses de los estudiantes.

REFERENCIAS

Abín, A., Núñez, J. C., Rodríguez, C., Cueli, M., García, T. y Rosário, P. (2020). Predicting mathematics achievement in secondary ed-ucation: The role of cognitive, motivational, and emotional vari-ables. *Frontiers in Psychology, 11*, 876. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00876

Ali, M. S. B., Yasmeen, R., y Munawar, Z. (2023). The impact of technology integration on student engagement and achievement in mathematics education: A systematic review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *6*(3), 222-232. https://journals.researchparks.org/index.php/IJIE

Álvarez-Rey, I., y Muñiz-Rodríguez, L. (2023). Los recursos lúdicos para la mejora de la actitud del alumnado de Educación Primaria hacia el aprendizaje de la geometría. *Educación matemática*, *35*(2), 268-292. https://doi.org/10.24844/EM3502.11

Baseball Savant. Sandy Alcantara Pitcher Plinko, 2022. MLB Advanced Media, LP, https://baseballsavant.mlb.com/visuals/pitch-plinko?playerId=645261&playerName=-Sandy%20Alcantara&year=2022&swarm=false&interval=250

Becerra-González, C. y Reidl, L. (2015). Motivación, autoeficacia, estilo atribucional y rendimiento escolar de estudiantes de bachillerato. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, *17*(3), 79-93. https://redie.uabc.mx/redie/article/view/664

Bernal, E. F., Astudillo, M. T. G., del Rey, Á. M. M., y Martín, M. T. S. (2018). Una experiencia divulgativa basada en la teoría de grafos. En XIV congreso regional de matemáticas de Castilla y León. León, 9 y 10 de noviembre de 2018 (p. 221). Junta de Castilla y León. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8589257

Bligh, D. A. (1998). *What's the Use of Lectures?*. Intellect Books.

Bransford, J. D., Brown, A. L., y Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. National Academy Press.

Castro-Velásquez, M. J., y Rivadeneira-Loor, F. Y. (2022). Posibles Causas del Bajo Rendimiento en las Matemáticas: Una Revisión a la Literatura. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, *7*(2), 1089-1098. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8354915

Contreras Beltrán, J. M., Duarte Tosso, I., y Núñez Valdés, J. (2013). ¿Bastan solo seis enlaces para conectar a dos personas cualesquiera en el mundo? Unión: Revista Iberoamericana de Educación Matemática, *33*, 103-118. https://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/808

Corbalán, F. (1995). *La matemática aplicada a la vida cotidiana*. Graó.

Corredor-García, M. S., y Bailey-Moreno, J. (2020). Motivación y concepciones que alumnos de educación básica atribuyen a su rendimiento académico en matemáticas. *Revista fuentes*, *22*(1), 127-141. https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2020.v22.i1.10

Deci, E. L., y Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry, 11*(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Fernández, I. H., Contreras, C. M., y Valdés, J. N. (2010). ¿Perderse en un laberinto? No con las matemáticas. Unión Revista Iberoamericana de Educación Matemática, *6*(21). https://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/1040

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., y Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(23), 8410–8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Hannula, M.S. (2006). Motivation in Mathematics: Goals Reflected in Emotions. *Educational Studies in Mathematics, 63*, 165–178. https://doi.org/10.1007/s10649-005-9019-8

Hidi, S., y Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist, 41*(2), 111-127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4

Likert, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology, 140, 1–55.

Luengo, G., Sanz, M. T., Valenzuela, C., y López-Iñesta, E. (2024). La notación musical: herramienta para el aprendizaje de las fracciones. *Educación Matemática*, *36*(1). https://doi.org/10.24844/EM3601.07

Mayer, R. E. (2002). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Muñoz, F. L. M., Montenegro, M. J. B., y Blanco-Álvarez, H. (2015). Estudio sobre los factores que influyen en la pérdida de interés hacia las matemáticas. *Amauta*, *13*(26), 149-166. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5440957

Nimier, J. (2007). *Las matemáticas, el español, los idiomas, ¿para qué me sirven?* (2nd ed.). Universidad del Valle. https://www.jstor.org/stable/j.ctv14nphjf

Núñez, R., Núñez, J., Paluzo, E., y Salguero, E. (2016). Jugueteando con grafos. Unión Revista Iberoamericana de Educación Matemática, *46*, 188-204. https://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/568

O'Leary, M. (2020). *Classroom Observation: A Guide to the Effective Observation of Teaching and Learning* (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315630243

Posamentier, A. S., y Smith, B. S. (2010). *Teaching Secondary Mathematics: Techniques and Enrichment Units* (8th ed.). Pearson Education.

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education, 93*(3), 223–231. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x

Pumacallahui Salcedo, E., Acuña Quispe, C. I., y Calcina Álvarez, D. A. (2021). Influencia del software GeoGebra en el aprendizaje de la geometría en estudiantes de cuarto grado de secundaria en el distrito de Tambopata de la región de Madre de Dios. *Educación Matemática*, *33*(2), 245-273. https://doi.org/10.24844/em3302.10.

Renninger, K. A. (2000). Individual interest and its implications for understanding intrinsic motivation. In C. Sansone y J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic and extrinsic motivation: The search for optimal motivation and performance* (pp. 373–404). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012619070-0/50035-0

Ricoy, M. C., y Couto, M. J. V. (2018). Desmotivación del alumnado de secundaria en la materia de matemáticas. *Revista electrónica de investigación educativa*, *20*(3), 69-79. https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.3.1650

Ryan, R. M., y Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Schukajlow, S., Rakoczy, K. y Pekrun, R. (2017). Emotions and motivation in mathematics education: Theoretical considerations and empirical contributions. *ZDM Mathematics Education*, *49*(3), 307-322. https://doi.org/10.1007/s11858-017-0864-6

Silva, M., Lopes, R., y Costa, A. (2023). Doing mathematics with music: Creating epistemic environments. *Journal of Educational Research*, *45*(3), 231-250. https://doi.org/10.29333/ejmste/12034

Tokac, U., Novak, E., y Thompson, C. G. (2019). Effects of game-based learning on students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology, 111*(7), 1171-1183. https://doi.org/10.1037/edu0000339

Trías Seferian, D., Sastre Abreu, H. y Cuadros-Jiménez, O. E. (2024). Motivación y autorregulación en el desempeño en matemáticas en estudiantes de Educación Secundaria. *Revista Colombiana de Educación*, *92*, 209-232. https://doi.org/10.17227/rce.num92-17121

Ubeda, L. M., Guinjoan, M., y Alacañiz, C. (2017). Mediatriz, Circuncentro y Diagrama de Voronoi en Educación Primaria: experimento con M&M's. In *VIII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática: Libro de actas* (pp. 24-32). Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESMP).

Villamizar Acevedo, G., Araujo Arenas, T. Y., y Trujillo Calderón, W. J. (2020). Relación entre ansiedad matemática y rendimiento académico en matemáticas en estudiantes de secundaria. *Ciencias Psicológicas*, *14*(1), e-2174. https://doi.org/10.22235/cp.v14i1.2174

White, J., y McCoy, J. (2019). Effects of game-based learning on attitude and achievement in elementary mathematics. *Networks: An Online Journal for Teacher Research, 21*(1). https://doi.org/10.4148/2470-6353.1259

Autora de correspondencia:

María Luisa Rodríguez Arévalo

Dirección: Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, Av. Abraham Lincoln esq. Av. Simón Bolívar, Santo Domingo, República Dominicana
mariarodriguez@pucmm.edu.do