

Diferencias de desempeño académico con base en emociones en clases de matemáticas

Differences in academic performance based on emotions in mathematics classes

Nelly Rigaud Téllez

Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM

Roberto Blanco Bautista

Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM

Viviana Flores Herrera

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Mario Sosa Rodríguez

Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM

Resumen

El uso de tecnologías para analizar expresiones faciales con el fin de identificar emociones y mejorar el rendimiento en educación es común. El objetivo de este trabajo es comprender mejor el aprendizaje matemático en este contexto, en especial de la Geometría Analítica, considerando emociones y desempeño académico. Para ello, se emplean la *teoría del control-valor* y el *marco afectivo para el aprendizaje* como cuerpo teórico. Se realizó un estudio con 95 estudiantes, durante el cual se grabaron sus expresiones faciales y se extrajeron emociones, junto con mediciones objetivas y subjetivas de aprovechamiento. Los resultados muestran que, en mediciones objetivas, los estudiantes de alto desempeño experimentan más cambios emocionales que los de bajo desempeño; mientras que los últimos reportan una sensación de seguridad en sus habilidades y conocimiento en mediciones subjetivas. El texto concluye con algunas recomendaciones para mejorar el aprendizaje matemático.

Palabras clave:

Expresiones faciales, Geometría Analítica, desempeño matemático, teoría del control-valor, marco afectivo para el aprendizaje.

Abstract

The use of technologies to analyze facial expressions for emotion recognition and performance enhancement in education is widespread. The aim is to gain deeper insights into mathematical learning within this context, especially Analytical Geometry, integrating emotions and academic achievement. To achieve this, the study employs the Control-Value Theory and the Affective Framework for Learning as theoretical frameworks. A study involving 95 students was conducted, recording their facial expressions, and extracting emotions, alongside objective and subjective performance metrics. The findings reveal that high-performing students exhibit more emotional variability than their low-performing counterparts in objective assessment, whereas the latter express greater confidence in their abilities in subjective evaluations. The study concludes with recommendations for improving mathematical learning based on these insights.

Keywords:

Facial expressions, Analytic Geometry, Math performance, Control Value Theory, Affective Learning Framework.

Fecha de recepción: 13 de enero de 2024

Fecha de aceptación: 01 de abril de 2024

Introducción >>>

Geometría Analítica es una de las asignaturas clave en el proceso educativo de cualquier carrera de Ingeniería, pues en esta se estudian formas, estructuras y propiedades geométricas mediante expresiones y ecuaciones algebraicas que permiten representar y manipular elementos como puntos, líneas, curvas y superficies (Spector, Lockee, & Childress, 2023). Por extensión, dicha disciplina es fundamental en la formación de ingenieros y permea en toda su actividad universitaria, ya que favorece el desarrollo de aspectos del pensamiento matemático y del razonamiento espacial, que incluyen habilidades tecnológicas con el uso de *software* dinámico; esto contribuye en la solución de problemas de reconocimiento de la forma, a través de propiedades, bajo una percepción de espacio de los objetos que nos rodean, en particular, lo correspondiente al mundo ingenieril (Burroughs, Arnold, & Álvarez, 2023). También permiten resolver problemas donde se determinan procesos de construcción, o se comparan distintas geometrías basadas en axiomas sin el uso de modelos concretos (Spector, Lockee, & Childress, 2023).

Aunado a lo anterior, los factores sociales y emocionales tienen una función relevante en el aprendizaje de Geometría Analítica, pues, desde el constructivismo, coadyuva a que los estudiantes compartan experiencias del aprendizaje y emociones individuales; también favorece otras actitudes y desarrolla habilidades como el pensamiento crítico, la disposición para el análisis, la responsabilidad, o el interés por saber y aplicar conceptos (Caratozzolo, Lara-Prieto, & Hosseini, 2022).

A raíz de que las clases de matemáticas en línea (*online*) se han convertido en una nueva norma cuando no es posible impartirlas de forma presencial, o bien, para enriquecerlas mediante modos dinámicos de pensamiento e interacción con conceptos matemáticos (Miragliotta, 2022), los estudiantes experimentan una amplia gama de emociones como sorpresa, aburrimiento, confusión, entusiasmo, frustración o ansiedad, a medida que se sumergen en entornos de aprendizaje de geometría (Eligio, 2017); esto, aunado a los conocimientos previos de la disciplina, estrategias didácticas y motivación, son vectores vinculados intrínsecamente con logros de aprendizaje (Woolf, Betke, Yu, Bargal, Arroyo, Magee, Allesio, & Rebelsky, 2023).

Sin embargo, las expresiones faciales y señales no verbales están prácticamente ausentes en una clase en línea, lo cual dificulta una adecuada interpretación de emociones y de lenguaje corporal (Ng, Shi, & Ting, 2020), e impide modificar y adaptar la instrucción de temas considerados difíciles (Calero, Shalom, Spelke, & Sigman, 2019), por ejemplo, ejes de simetría, cónicas o ecuaciones paramétricas, ante señales negativas como miradas de confusión; además, resulta complicado distinguir momentos cruciales en el aprendizaje

geométrico (por la expresión de sorpresa), lo cual dificulta una comprensión interpersonal, o apoyo adicional y orientación.

Más aún, en las clases en línea de Geometría Analítica es difícil identificar varios aspectos del lenguaje corporal, por ejemplo, los movimientos de las manos que respaldan formas gestuales de pensamiento sobre conceptos matemáticos como rotación, traslación, perpendicularidad y pendiente (Ng & Sinclair, 2018).

Lo anterior se sustenta desde la perspectiva del cognoscitivismo, que hace énfasis en la cognición (Jamaludin, 2023), así como en el desempeño en geometría analítica por interacciones con el entorno, materiales y tecnologías, donde se puede respaldar el tránsito de la acción a la abstracción para el aprendizaje mediante gestos y expresiones faciales, lo cual fortalece los procesos de creación de sentido en estudiantes (Weisberg & Newcombe, 2017).

En otras palabras, en la medida en que un estudiante interactúa en una clase en línea de geometría analítica, experimentará diferentes emociones y niveles de participación que dependen de otros factores, como sus conocimientos previos de matemáticas. Asimismo, cuanto más correcta sea la interpretación de información de las emociones durante las clases de matemáticas, se tendrán mejores posibilidades de personalizar la instrucción y las actividades.

A pesar de que se han realizado investigaciones para estimar y cuantificar emociones en contextos de aprendizaje que incluyen modelos (Pise, Vadapalli, & Sanders, 2022), mediciones objetivas y subjetivas de desempeño (Prakash, y otros, 2019), estrategias para evaluar emociones mediante encuestas y exámenes (Bossé, Bayaga, Lynch-Davis, & DeMarte, 2021), uso de tecnologías de inteligencia artificial, en el denominado cómputo afectivo para el reconocimiento de emociones y expresiones con la mirada, lenguaje corporal y expresiones faciales (Geetha, Mala, & Uma, 2023), así como con el uso de sensores biofísicos (Delahunty, 2023), en las carreras de ingeniería se han indagado muy poco, de forma integral, las emociones manifestadas por los alumnos durante las clases en línea de Geometría Analítica.

El objetivo de este trabajo es contar con una interpretación confiable y actualizada del aprendizaje matemático en estudiantes de ingeniería, que considere sus emociones y desempeño al analizar sus estados afectivos en las clases en línea de Geometría Analítica, así como sus diferencias en el aprovechamiento, en términos de mediciones objetivas (rendimiento) y subjetivas (percepción de rendimiento). Estos resultados permiten realizar modelos explicativos de emociones durante clases de matemáticas, o bien, plantear intervenciones académicas personalizadas por desempeño que generen una mejor experiencia de aprendizaje.

La pregunta de investigación es ¿cuáles son las emociones específicas que generan diferencias de aprendizaje, a partir de mediciones por desempeño y por percepción de desempeño en clases de Geometría Analítica?

El alcance se encuentra en proporcionar evidencia empírica para emociones y sus diferencias por grupos categorizados por desempeño, en el contexto de clases en línea de Geometría Analítica, para los temas de parábola y elipse, por considerarse difíciles.

Marco teórico »»

La teoría de control-valor y el marco afectivo para el aprendizaje

Enseguida se exponen dos teorías que sustentan este trabajo y abordan la influencia de los aspectos emocionales en la trayectoria académica.

La *teoría de control-valor* brinda los fundamentos de cómo y por qué las emociones contribuyen a resultados académicos (Tze, Parker, & Sukovieff, 2022). En esencia, postula que las emociones se vinculan intrínsecamente con resultados de desempeño y están influidas por el control percibido y el valor atribuido a una actividad (Harackiewicz, 2002). El control percibido se refiere al grado o capacidad de influencia que los individuos consideran que poseen en sus resultados, mientras que el valor se asocia a la importancia o utilidad que le atribuyen a una tarea o actividad.

Estos aspectos son centrales, ya que las evaluaciones cognitivas determinan qué emoción de logro se instiga (Csikszentmihalyi, 1996). El *control* percibido involucra diversas atribuciones causales y expectativas sobre una actividad o resultado determinado, mientras que el *valor* se relaciona con la importancia o utilidad atribuida por los individuos a una tarea o actividad.

En esta investigación, la teoría de control-valor ayuda a explicar cómo las evaluaciones cognitivas y resultados de actividades asociadas al desempeño son un soporte de las emociones que se experimentan en situaciones relacionadas con el logro (Karabenick, 1991). Para ello, se emplean valencias que permiten clasificar emociones desde tres dimensiones: valencias positivas y negativas; la dimensión de activación y desactivación; y la tercera, el enfoque, es decir, la actividad o resultado del desempeño futuro con respecto al desempeño pasado (Sharma, Papavlasopoulou, & Giannakos, 2022).

En particular, por el alcance de esta investigación se considera a las valencias positivas y negativas de emociones básicas (Pekrun, Elliot, & Maier, 2009); las positivas incluyen las de "feliz", "miedo" o "sorprendido" y se relacionan con un alto desempeño; mientras que las de valencia negativa incluyen "triste", "disgustado" o "enojo", y se asocian con un bajo desempeño.

Las emociones de valencia positiva se postulan como una función multiplicativa de la controlabilidad percibida y los valores positivos de las actividades o resultados.

Sin embargo, también hay emociones complejas que se pueden manifestar de diversas maneras y tener impactos positivos o negativos en el aprendizaje; por ejemplo, la ansiedad, cuando es positiva, puede estimular a un estudiante a prepararse y abordar desafíos académicos, a aumentar el estado de alerta o la atención y ayudarlo a concentrarse (D'Mello & Graesser, 2012); en cambio, la ansiedad negativa puede generar paralización con bloqueos mentales y preocupaciones.

En tal sentido, la clasificación de emociones por valencia depende, en gran medida, del contexto y de cómo afectan el comportamiento en el aprendizaje; de hecho, se pueden regular mediante estrategias cognitivas y de comportamiento. En este trabajo se emplea adicionalmente el *marco afectivo para el aprendizaje*, otra estructura teórica que revela la importancia de las emociones en dicho proceso y en el rendimiento académico (D'Mello & Graesser, 2012); y postula que las emociones son parte integral del proceso de aprendizaje para facilitar o dificultar el aprendizaje.

Además de las emociones básicas, hay otras, el marco afectivo se centra en las específicas de la educación y su impacto en los resultados de aprendizaje, es decir, las experimentadas por estudiantes en entornos educativos; también captura su complejidad durante actividades de aprendizaje, en términos específicos, incluso por encima de etiquetas binarias, por clasificaciones más matizadas: motivadoras, inhibidoras, desafiantes o constructivas, con la intención de enfatizar la naturaleza dinámica de las emociones y su influencia en las experiencias de aprendizaje, aunque también dependen de contextos específicos y de las propias vivencias de los estudiantes.

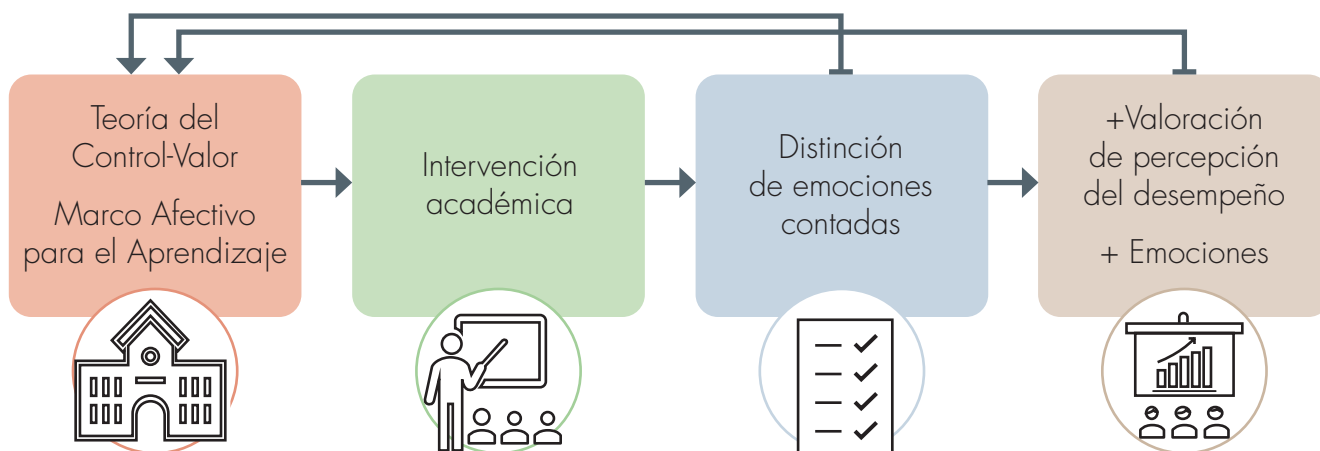
Por lo tanto, el marco afectivo para el aprendizaje complementa a la teoría de control-valor, al considerar y clasificar emociones específicas complejas que surgen en un entorno educativo (Sharma, Papavlasopoulou, & Giannakos, 2022); por ejemplo, el interés, el entusiasmo y la confianza están entre las emociones "motivadoras"; mientras que la frustración y la ansiedad se encuentran en la categoría de "inhibidor"; la etiquetada como "desafiante" contiene al enojo y al aburrimiento; en tanto que la "constructiva" impacta en el proceso de aprendizaje y considera emociones como la sorpresa y el deleite (Pekrun, Elliot, & Maier, 2009).

La teoría del control-valor y el marco afectivo para el aprendizaje permiten comprender las emociones vinculadas al aprovechamiento y a su percepción, esta última como la opinión, la imagen o valoración de un estudiante sobre su propio desempeño.

A continuación, se ilustra el vínculo de las dos bases teóricas para obtener mediciones y diferencias entre emociones, con sustento en recomendaciones de la literatura (Tze, Parker, & Sukovieff, 2022), cuando se genera alguna intervención académica (figura 1). La teoría del control-valor se emplea para explorar emociones en las clases en línea, desde una perspectiva de desempeño; mientras que el marco afectivo de aprendizaje permite clasificar emociones en

entornos educativos y fundamentar los análisis de mediciones de tipo subjetivo, como sucede con la percepción de desempeño.

Figura 1. Marco teórico para la estrategia de la investigación



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Metodología >>>

Clases en línea de Geometría Analítica

Para facilitar la comprensión de conceptos y resolución de problemas, las sesiones de esta asignatura se diseñaron desde un enfoque cognitivo, en tres clases, con una duración máxima de hora y cuarto cada una, con los temas de parábola, elipse y repaso; se estructuraron por tiempos, es decir, se asignaron tiempos orientativos para mantener el dinamismo de la sesión y se usaron recursos como pizarrón electrónico, en línea (la web) para hacer demostraciones de geometría¹ y paquetería de Microsoft®.

Las sesiones se impartieron en los meses de febrero a abril de 2023, a través de la plataforma ZOOM, y se grabaron para su posterior conteo y análisis de emociones.

Los objetivos del tema de parábola fueron aplicar sus fundamentos; desarrollar habilidades para la solución de problemas en los que los alumnos razo-

¹ Un ejemplo de tales recursos es geogebra.org: <https://www.geogebra.org/m/trvu3zzv#material/fp6rjz92>

naran, observaran y reconocieran patrones; y aprendieran a analizar problemas mediante su descomposición en partes más pequeñas, así como a manejar componentes (algoritmos).

La segunda sesión tuvo el propósito de interpretar los conceptos de la elipse y la solución de problemas con actividades de observación, razonamiento y reconocimiento de patrones en problemas no rutinarios.

Por último, en la tercera sesión se dio un “repaso” con el objetivo de resolver problemas de parábola y de elipse mediante la búsqueda y creación de múltiples rutas para lograrlo.

Muestra y obtención de datos

Participaron 95 alumnos de las Facultades de Estudios Superiores Aragón, de Estudios Superiores Cautitlán y de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, de las carreras de tecnología e ingeniería, quienes dieron su consentimiento previo por escrito para formar parte de la investigación. La muestra fue no probabilística, se obtuvo por invitación a los alumnos. La compilación de datos incluyó los siguientes recursos.

- **Videgrabaciones:** Permitieron capturar expresiones faciales y extraer las imágenes de sus emociones mientras se impartían las sesiones en ZOOM. La cámara debía estar abierta durante la clase, el rostro despejado con fondo blanco; el audio se encendió solo en el momento de participación de los estudiantes. Para la captura adecuada de imágenes se formaron grupos con un máximo de 25 alumnos.
- **Sesiones:** Las impartió un especialista en geometría analítica, asistido por un equipo de profesores provenientes de las universidades participantes y expertos en el uso de recursos, en grabaciones y en orientar a estudiantes con la visualización de sus imágenes.
- **Formularios:** Los alumnos realizaron dos pruebas de desempeño por sesión, al inicio y al final, con formularios de Google. Se aplicó un cuestionario para determinar la experiencia de aprendizaje, el cual desplegaba un listado de emociones para que cada estudiante eligiera su percepción de desempeño acerca de las pruebas.

Mediciones

La figura 2 muestra los indicadores para la clasificación de emociones, con base en Eckmann, Kamphorst, Oliffson y Ruelle (1987) y el apoyo de *software* especializado (por ejemplo, CompreFace) para obtener fotogramas (tasa de

imágenes por segundo) mediante procesamiento, extracción de características y clasificación de imágenes. En cada fotograma se extrajeron las imágenes y se alinearon con la emoción percibida: "tristeza", "miedo", "disgusto", "sorpresa", "neutral", "feliz" y "enojo". Con esta información se generó una base de datos de imágenes faciales de estudiantes en el curso de Geometría Analítica y se calculó la frecuencia de emociones.

Figura 2. Ejemplo de detección de fotogramas y asociación de emociones

Expresión facial						
Con la clase	Explica una parábola con vértice en el origen-conceptos	Una parábola con eje y, con números enteros	Una parábola con eje y, con fracciones y negativos	Una parábola con cambio a eje x, con números enteros	Una parábola con cambio a eje x, fracciones y negativos	Dada la ecuación general de la parábola, identificar todos sus elementos
Emoción	Neutro	Feliz	Miedo	Neutro	Miedo	Enojado

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Respecto a las pruebas de conceptos y problemas, se obtuvieron mediciones objetivas de aprovechamiento, es decir, las emociones son independientes y el desempeño es la respuesta a las diferentes emociones, lo que permitió determinar grupos de estudiantes con base en su desempeño.

Al final de cada una de las tres clases, los alumnos llenaron una encuesta de satisfacción; en todas evaluaron su experiencia al realizar cada prueba de desempeño (inicio y final), relacionando la percepción de emociones complejas con lo que cada quien percibió, es decir, se obtuvieron valoraciones subjetivas de desempeño.

Resultados

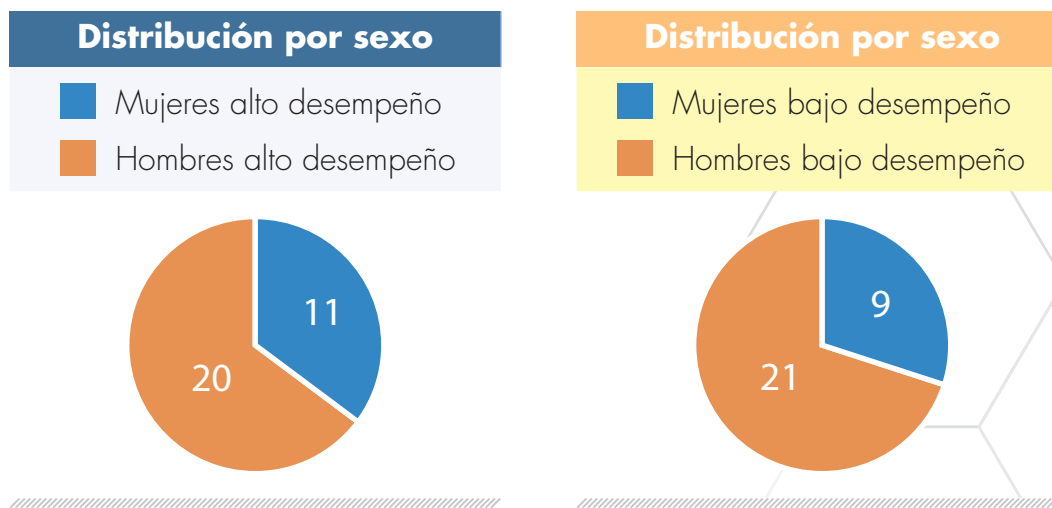
En el siguiente apartado se presenta el análisis estadístico de datos para determinar emociones predominantes en alumnos y sus diferencias en el desempeño, considerando mediciones objetivas y subjetivas.

Desempeño y emociones detectadas

Se obtuvieron fotogramas de 61 alumnos, debido a la calidad de la imagen (detección del rostro y extracción de atributos) no fue posible rescatar el resto. Los datos se normalizaron mediante un factor de escala, de manera que la suma total fue consistente con cada emoción para su coherencia y comparabilidad (Montgomery, 2017).

Como se desconocía la distribución de probabilidad, se empleó la mediana, que fue de 6.3 para las pruebas matemáticas, lo que permitió clasificar entre muestras de alto y bajo desempeño, como se expone en la figura 3. También se observa que alrededor de 50% de la población examinada corresponde a alumnos de bajo desempeño y que la distribución por género es proporcional en ambos grupos.

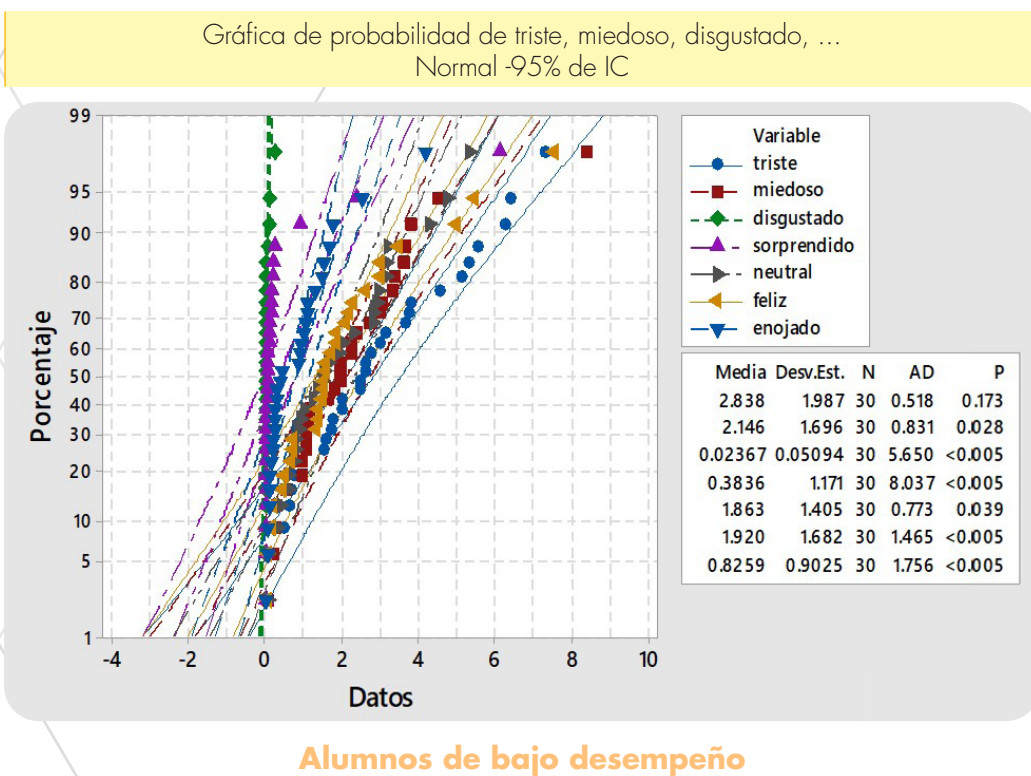
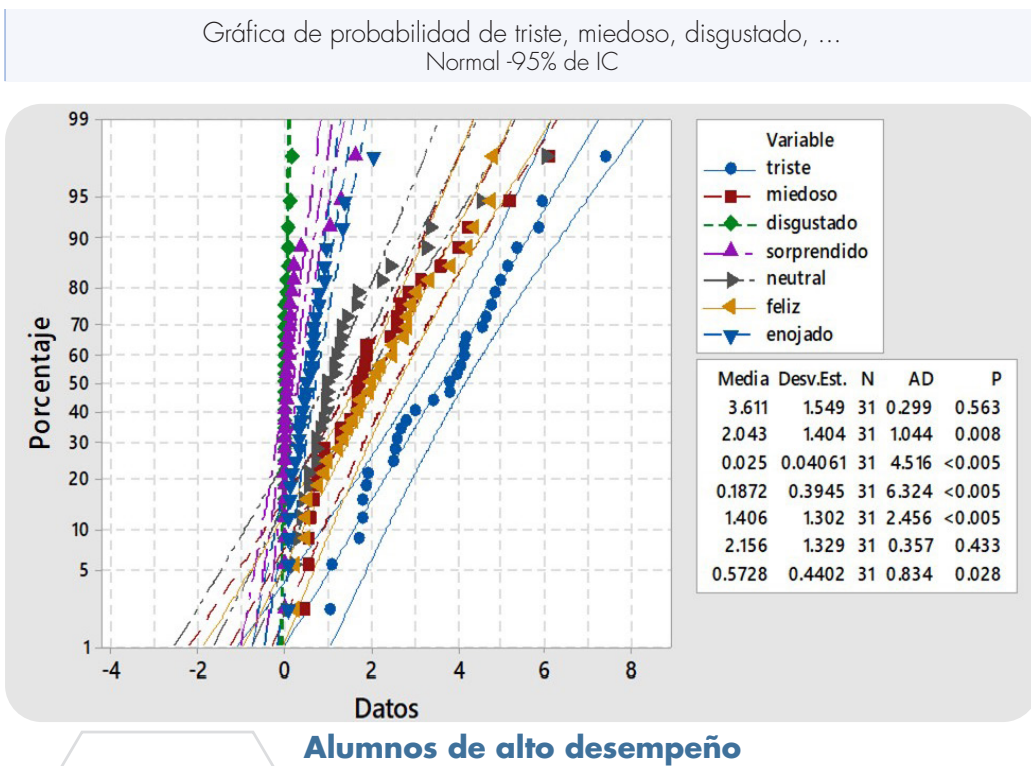
Figura 3. Distribución de la muestra por alto y bajo desempeño



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Por su parte, la figura 4 permite ver que el promedio y la desviación estándar mantienen una proporción promedio de cada emoción, con respecto al total de fotogramas para cada categoría de emoción. En la misma gráfica, la evaluación del ajuste de la distribución de los datos muestra que algunas emociones siguen una distribución de probabilidad normal, como "triste" (0.563) y "feliz" (0.433). Más allá de la evaluación del ajuste de la distribución de los datos conforme a los valores p , la desviación estándar indica la dispersión de los datos alrededor de la media; se observan diferencias en las medias de las emociones, por ejemplo, "triste" y "feliz" presentan mayor promedio, mientras que otras, como "disgustado" y "sorprendido", tienen promedios más bajos, en ambos grupos.

Figura 4. Gráfica de probabilidad por alto y bajo desempeño



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

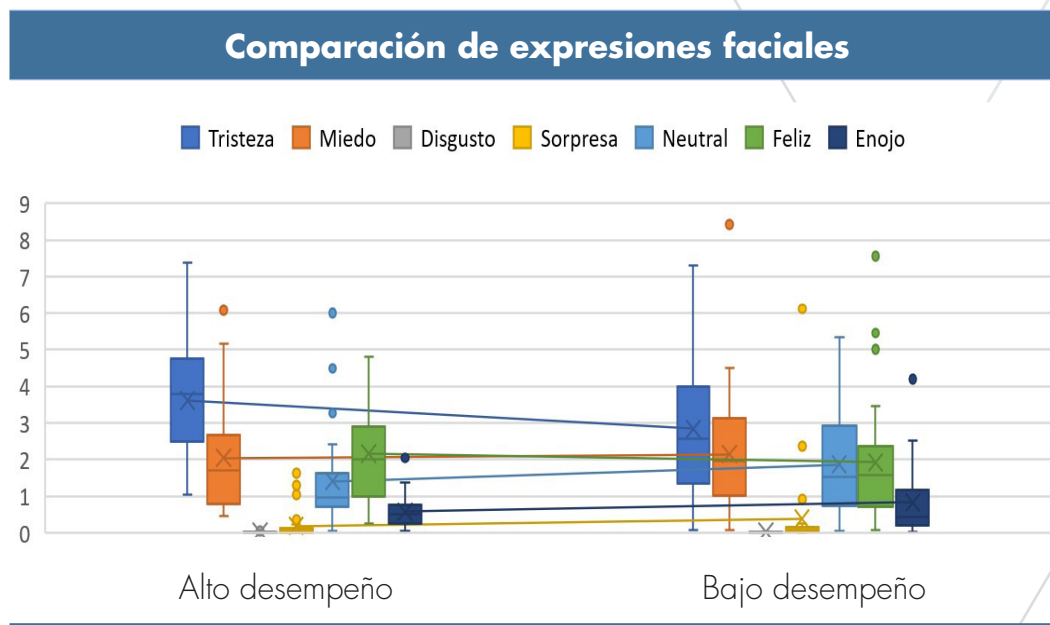
En la comparación de expresiones por grupo de desempeño, la gráfica de caja (figura 5) permite visualizar los datos y su variabilidad: la línea inferior muestra el primer cuartil, y el superior, el tercer cuartil. Nótese que los bigotes del diagrama para la agrupación de desempeño, particularmente los superiores de las emociones "triste" (73.75 y 72.95), "miedoso" (60.8 y 44.92), "neutral" (24.06 y 53.3) y "feliz" (47.99 y 34.35), presentan el valor máximo del conjunto de datos por grupo de desempeño, respectivamente.

Las amplitudes de las cajas son diferentes, aunque por el grupo de desempeño son relativamente similares, lo cual sugiere que el rango intercuartílico entre las muestras es estable.

Las medianas no coincidieron con las medias y hubo valores atípicos fuera del máximo del bigote para las categorías "miedoso", "sorprendido", "neutral", "feliz" y "enojado".

Con el fin de obtener una interpretación detallada sobre diferencias significativas se usó la prueba de ANOVA para el grupo de alto desempeño; se consideró que la hipótesis nula H_0 negaba diferencias significativas entre los grupos. El valor de F crítica fue menor que F real ($2.141943 < 43.80065$), con un valor $p = 1.74E-34$, lo que indica diferencias significativas al menos entre dos categorías, y dado que el estadístico de F es mucho mayor que el valor crítico, esto respalda la significancia estadística.

Figura 5. Gráfica de comparación de expresiones faciales por alto y bajo desempeño



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Algo similar ocurrió con el grupo de bajo desempeño. El valor de F crítica también fue menor que F real ($2.143453 < 16.11367$), aunque la proporción con respecto al grupo de alto desempeño fue menor. El valor $p = 3.89E-15$ indica que también hubo diferencias significativas al menos entre dos emociones básicas.

Debido a que no se previeron diferencias de emociones por grupo de desempeño, un *post hoc*, mediante la prueba de Scheffé, permitió identificar diferencias en las medias de emociones y, con ello, concretar los resultados de ANOVA e indagar posibles emociones distintivas por grupo de desempeño (Montgomery, 2017).

En la *tabla 1* se observan variaciones en el grupo de alto desempeño y que el contraste de emociones presenta diferencias estadísticamente significativas en la media del desempeño de estudiantes, en varias comparaciones pareadas; por ejemplo, con "triste y neutral" es distintiva al comparar emociones en alumnos de alto desempeño.

Si se considera la magnitud de diferencias, es decir, los valores absolutos de las diferencias entre cada par de emociones, una mayor desigualdad sugiere que la distinción entre emociones es más fuerte, por ejemplo, "triste y disgustado" (170.4473) o "triste y sorprendido" (155.3793).

Tabla 1. Comparaciones múltiples conjuntas por parejas de emociones en grupo de alto desempeño

Comparación pareada	Diferencia de medias	F-Scheffé	F-crítica	Conclusión
Triste y miedoso	1.5681613	32.59969	12.85166	Diferencia
Triste y disgustado	3.5857419	170.4473	12.85166	Diferencia
Triste y sorprendido	3.4235806	155.3793	12.85166	Diferencia
Triste y neutral	2.205129	64.46143	12.85166	Diferencia
Triste y feliz	1.4546452	28.05085	12.85166	Diferencia
Triste y enojado	3.0379677	122.3484	12.85166	Diferencia
Miedoso y disgustado	2.0175806	53.96271	12.85166	Diferencia
Miedoso y sorprendido	1.8554194	45.6369	12.85166	Diferencia
Miedoso y neutral	0.6369677	5.37857	12.85166	Sin diferencia

Comparación pareada	Diferencia de medias	F-Scheffé	F-crítica	Conclusión
Miedoso y feliz	-0.113516	0.170823	12.85166	Sin diferencia
Miedoso y enojado	1.4698065	28.63863	12.85166	Diferencia
Disgustado y sorprendido	-0.162161	0.348599	12.85166	Sin diferencia
Disgustado y neutral	-1.380613	25.26829	12.85166	Diferencia
Disgustado y feliz	-2.131097	60.20579	12.85166	Diferencia
Disgustado y enojado	-0.547774	3.977728	12.85166	Sin diferencia
Sorprendido y neutral	-1.218452	19.68106	12.85166	Diferencia
Sorprendido y feliz	-1.968935	51.39193	12.85166	Diferencia
Sorprendido y enojado	-0.385613	1.97122	12.85166	Sin diferencia
Neutral y feliz	-0.750484	7.466459	12.85166	Sin diferencia
Neutral y enojado	0.8328387	9.195043	12.85166	Sin diferencia
Feliz y enojado	1.5833226	33.23309	12.85166	Diferencia

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Por el número de diferencias significativas, una cifra más alta de una emoción notoriamente distintiva puede implicar una mayor relevancia.

En consecuencia, es posible diferenciar la solidez de las diferencias cuando una emoción muestra diferencias con otras de manera recurrente, en este caso se le puede dar mayor importancia; por ejemplo, "triste", "feliz", "sorprendido" y "enojado" brindan un patrón que sugiere un rol más prominente de emociones para el grupo de alto desempeño.

La [tabla 2](#) presenta los resultados de la prueba de Scheffé para el grupo de bajo desempeño; esta permite inferir homogeneidad en las emociones, lo que en apariencia indica un estancamiento emocional en dichos alumnos. Conforme a dicha prueba, no se hallaron evidencias suficientes para afirmar que las medias diferían significativamente entre ninguna de las emociones, esto sugiere que a pesar de que ANOVA mostró diferencias entre las medias de las emociones, la prueba indicó que ninguna de las emociones permeaba más que otra.

Tabla 2. Comparaciones múltiples conjuntas por parejas de emociones en grupo de bajo desempeño

Comparación pareada	Diferencia de medias	F-Scheffé	F-crítica	Conclusión
Triste y miedoso	0.6924667	3.644533	12.86072	Sin diferencia
Triste y disgustado	2.8144333	0.602041	12.86072	Sin diferencia
Triste y sorprendido	2.4545	0.4579	12.86072	Sin diferencia
Triste y neutral	0.9748	0.072223	12.86072	Sin diferencia
Triste y feliz	0.9182667	0.064089	12.86072	Sin diferencia
Triste y enojado	2.0122	0.307742	12.86072	Sin diferencia
Miedoso y disgustado	2.1219667	0.342233	12.86072	Sin diferencia
Miedoso y sorprendido	1.7620333	0.235978	12.86072	Sin diferencia
Miedoso y neutral	0.2823333	0.006059	12.86072	Sin diferencia
Miedoso y feliz	0.2258	0.003875	12.86072	Sin diferencia
Miedoso y enojado	1.3197333	0.132378	12.86072	Sin diferencia
Disgustado y sorprendido	-0.359933	0.009847	12.86072	Sin diferencia
Disgustado y neutral	-1.839633	0.257221	12.86072	Sin diferencia
Disgustado y feliz	-1.896167	0.273273	12.86072	Sin diferencia
Disgustado y enojado	-0.802233	0.048915	12.86072	Sin diferencia
Sorprendido y neutral	-1.4797	0.166415	12.86072	Sin diferencia
Sorprendido y feliz	-1.536233	0.179374	12.86072	Sin diferencia
Sorprendido y enojado	-0.4423	0.014869	12.86072	Sin diferencia
Neutral y feliz	-0.056533	0.000243	12.86072	Sin diferencia
Neutral y enojado	1.0374	0.081797	12.86072	Sin diferencia
Feliz y enojado	1.0939333	0.090955	12.86072	Sin diferencia

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

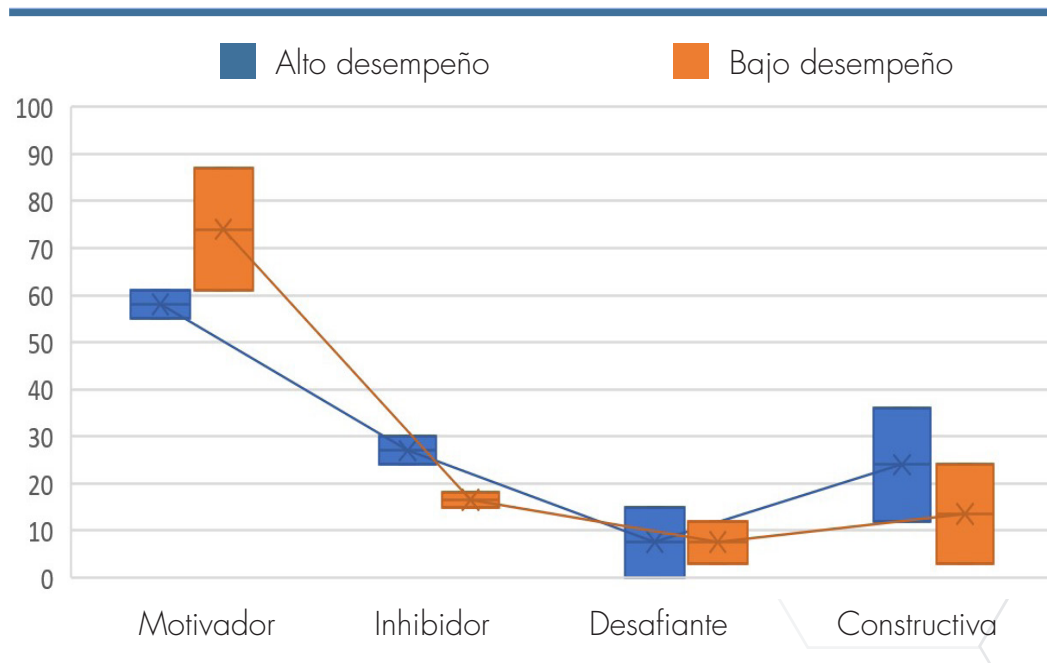
Percepción de desempeño y emociones específicas

La figura 6 muestra las percepciones de rendimiento por grupo de desempeño; el rango intercuartil, en la categoría “motivador”, exhibe una dispersión más amplia para el grupo de bajo desempeño; sin embargo, en promedio, se observó una tendencia a un mayor nivel de motivación entre los participantes de este último grupo.

El grupo de alto desempeño presenta una mediana más alta para la categoría de “inhibidor” (27) y “constructiva” (13.5), lo que sugiere que, en promedio, muestra una mayor frecuencia de emociones como la ansiedad.

Asimismo, no se observan valores atípicos para ninguno de los dos grupos, por lo que los valores extremos no desvían significativamente el patrón general de la percepción de desempeño. Con respecto a la estadística descriptiva, 54 respondieron las encuestas de percepción de desempeño.

Figura 6. Gráfica de comparación de expresiones faciales por alto y bajo desempeño



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

En la tabla 3 sobresale la categoría de “motivador” (media 4.535714 y 5.346154), lo que indica que las emociones percibidas con mayor frecuencia fueron las complejas de interés y entusiasmo en el contenido académico; se impulsó la participación y una sensación positiva de seguridad en el conocimiento geométrico.

Tabla 3. Estadística descriptiva por grupos de desempeño

SUMMARY					SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance	Groups	Count	Sum	Average	Variance
Motivador	28	127	4.5357	14.480	Motivador	26	139	5.3461	9.2753
Inhibidor	28	54	1.9285	5.476	Inhibidor	26	33	1.2692	3.7246
Desafiante	28	15	0.5357	1.3690	Desafiante	26	15	0.5769	1.4538
Constructiva	28	30	1.0714	4.1428	Constructiva	26	25	0.9615	2.5984
Alto desempeño					Bajo desempeño				

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

En forma similar al análisis cuantitativo de desempeño, se realizó la diferencia de medias con la prueba de Scheffé para ambos grupos, debido a que en el ANOVA para alumnos de alto desempeño F real fue mayor que F crítica ($13.83796 > 2.688691$), con un valor p pequeño ($1.06E-07$). En el grupo de bajo desempeño, los valores de F real también fueron proporcionalmente mayores que los de los grupos de alto desempeño ($30.14556 > 2.695534$), con un valor de $5.76E-14$, lo que implica que las diferencias en medias del grupo de bajo desempeño pueden tener mayor potencial. A continuación, se presenta el análisis de la prueba de Scheffé (tabla 4).

En la tabla 4, la prueba *post hoc* permitió comparar todos los pares de categorías de emociones complejas para los dos grupos de desempeño, por lo que se pueden identificar los pares de agrupaciones de emociones complejas con diferencias significativas entre sí.

En ambos grupos hay diferencias en sus medias en las comparaciones de "motivador e inhibidor", "motivador y desafiante" y "motivador y constructiva".

Los alumnos de bajo desempeño mostraron una media mayor en la categoría de motivador, lo que da cuenta de una percepción de mayor autoconfianza que los alumnos con alto desempeño. Por el contrario, en la categoría de inhibidor, el grupo de alto desempeño mostró mayores niveles de ansiedad, en comparación con los alumnos de bajo desempeño.

Tabla 4. Comparaciones múltiples conjuntas por parejas de percepción de desempeño en ambos grupos de desempeño

Comparación pareada (Alto desempeño)	Diferencia de medias	F-Scheffé	F-Crítica	Conclusión
Motivador e inhibidor	2.607143	14.94578	8.066074	Diferencia
Motivador y desafiante	4	35.18105	8.066074	Diferencia
Motivador y constructiva	3.464286	26.38859	8.066074	Diferencia
Inhibidor y desafiante	1.392857	4.2 65815	8.066074	Sin diferencia
Inhibidor y constructiva	0.857143	1.615457	8.066074	Sin diferencia
Desafiante y constructiva	-0.53571	0.631038	8.066074	Sin diferencia

Comparación pareada (Bajo desempeño)	Diferencia de medias	F-Scheffé	F-crítica	Conclusión
Motivador e inhibidor	4.076923	50.68567	8.086603	Diferencia
Motivador y desafiante	4.769231	69.36124	8.066074	Diferencia
Motivador y constructiva	4.384615	58.62505	8.066074	Diferencia
Inhibidor y desafiante	0.692308	1.461566	8.066074	Sin diferencia
Inhibidor y constructiva	0.307692	0.288704	8.066074	Sin diferencia
Desafiante y constructiva	-0.38462	0.451101	8.066074	Sin diferencia

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en la investigación, en 2023.

Otro aspecto es que para la categoría de “desafiante” los alumnos de bajo desempeño muestran una media mayor, por ejemplo, con “aburrimiento” y “enojo” ante obstáculos, que los alumnos de alto desempeño.

Además, los alumnos de alto aprovechamiento presentan una media mayor en la apertura a nuevas ideas o conceptos en contraste con los alumnos de bajo desempeño (constructiva).

Para la muestra, aparentemente, la categoría de motivador tiene un aspecto significativo en la diferencia percibida entre alto y bajo desempeño. Dado que los alumnos con bajo desempeño exhiben una media mayor, esto sugiere que la motivación tiene una función sustancial en el contexto de bajo desempeño comparado con el de alto.

Conclusiones »»

El estudio muestra diferencias de mediciones en el desempeño durante las clases en línea de Geometría Analítica, desde dos perspectivas: el desempeño y la percepción del desempeño, con base en la teoría del control-valor y el marco afectivo para el aprendizaje, las cuales evidencian la importancia de abordar una diversidad de emociones al analizar grupos de estudiantes de ingeniería.

Los alumnos de alto desempeño transitan por una mayor gama de emociones, en especial, en la diferencia de medias para "feliz", "triste", "sorprendido" y "enojado". Sin embargo, el bajo desempeño de los alumnos en esas pruebas no es evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Al no encontrar diferencias significativas, las emociones básicas no presentan una igualdad de trato, lo cual no conduce a diferencias estadísticas significativas.

Por el contrario, al explorar el marco afectivo para el aprendizaje con la percepción de desempeño se encontró que los alumnos con bajo rendimiento presentaron diferencias en la categoría de motivador, lo que sugiere una sensación positiva de seguridad en sus habilidades y conocimiento.

En consecuencia, desde una perspectiva de las dos teorías se recomienda repetir el experimento con una muestra de mayor tamaño para determinar si estas emociones se replican, lo cual también puede sustentar mejor las diferentes mediciones causales, en particular, analizar emociones específicas para alumnos de alto y de bajo desempeño.

Puesto que, desde una perspectiva educativa, los contenidos y recursos adquieren importancia para las clases en línea de Geometría Analítica, en los párrafos siguientes se ofrecen algunas recomendaciones para los grupos de desempeño.

Si se considera que la categoría de "constructiva" es relevante en la percepción de los grupos con alto desempeño, se sugiere diseñar recursos con contenido matemático desafiante y avanzado de Geometría Analítica, con el fin de mantenerlos interesados y estimulados intelectualmente. Se sugiere la misma estrategia sobre el plan de estudios: diseñar recursos didácticos que les permitan explorar y mejorar una comprensión profunda de los temas de la disciplina.

Asimismo, puesto que entre los estudiantes de ingeniería hay una fuerte tendencia hacia los proyectos, se pueden generar trabajos colaborativos con pares, en donde apliquen conceptos matemáticos para escenarios del mundo real.

Respecto a los alumnos con bajo desempeño, en virtud de que en su percepción sobresalen aspectos como la confianza, pero también manifiestan enojo y aburrimiento, se pueden implementar programas de soporte individualizado, como talleres que brinden apoyo para abordar brechas específicas,

por ejemplo, basados en errores matemáticos comunes que favorezcan la comprensión y permitan construir una base sólida en los temas fundamentales de Geometría Analítica.

Otro tipo de actividades consiste en crear recursos y aplicaciones tecnológicas, mediante apoyos visuales, para mejorar la comprensión de los conceptos abstractos y hacerlos más tangibles.

Es necesario enfatizar que como en la primera parte del análisis no se pueden distinguir diferencias entre las emociones básicas de los alumnos, por sus expresiones faciales, cuando realizan actividades matemáticas, es conveniente dar seguimiento y llevar a cabo evaluaciones continuas del progreso para la adaptación y ajuste de la instrucción.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México y Proyectos de Investigación en Inteligencia Artificial en el Espacio de Innovación UNAM-HUAWEI, Proyecto Núm. 8.

Referencias bibliográficas

- Bossé, M., Bayaga, A., Lynch-Davis, K., & DeMarte, A. (2021). Assessing Analytic Geometry Understanding: Van Hiele, SOLO, and Beyond. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 1-23.
- Burroughs, E., Arnold, E., & Álvarez, J. (2023). Encountering ideas about teaching and learning mathematics in undergraduate mathematics courses. *ZDM Mathematics Education*, 55, 897-907. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s11858-022-01454-3>
- Calero, C., Shalom, D., Spelke, E., & Sigman, M. (2019). Language, gesture, and judgment: Children's paths. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70-85. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.jecp.2018.07.015>
- Caratozzolo, P., Lara-Prieto, V., Hosseini, S., & Membrillo Hernández, J. (2022). The use of video essays and podcasts to enhance creativity and critical thinking in engineering. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 16, 1231-1251. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s12008-022-00952-8>
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Flow*. Kairós.

- Delahunty, T. (2023). International Encyclopedia of Education. *Neurocognitive and physiological measurement of STEM learning processes*, 458-471. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/B978-0-12-818630-5.13040-4>
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*, 22(2), 153-170.
- Eckmann, J.P., Kamphorst, O., Oliffson, S., & Ruelle, D. (1987). Recurrence Plots of Dynamical Systems. *Europhysics Letters*, 4(9), 973.
- Eligio, U. (2017). An Overview of the Growth and Trends of Current Research on Emotions and Mathematics. In U. Eligio, *Understanding Emotions in Mathematical Thinking and Learning* (pp. 3-41). Academic Press. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/B978-0-12-802218-4.09994-5>
- Geetha, A., Mala, P., & Uma, E. (2023). Multimodal Emotion Recognition with Deep Learning: Advancements, challenges, and future directions. *Information Fusion*, 2-38. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102218>
- Harackiewicz, J. (2002). Predicting success in college: a longitudinal study of achievement goals and ability measures as predictors of interest and performance from freshman year through graduation. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 562-575.
- Jamaludin, N. L., Mohd Nasir, J. S., Isa, S. S. y Ali, A. (2023). @INNOVATIVEESCAPE: Students' perception and perceived learning outcome using an online exhibition via Instagram platforms. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 9(S117), 471-478. <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v9iS117.5453>
- Karabenick, S. (1991). Relationship of academic help seeking to the use of learning strategies and other instrumental achievement behavior in college students. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 221-230.
- Miragliotta, E. (2022). Geometric prediction: A framework to gain insight into solvers' geometrical reasoning. *The Journal of Mathematical Behavior*, 65, 15. Doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.jmathb.2021.100927>
- Montgomery, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley.
- Ng, O., Shi, L., & Ting, F. (2020). Exploring differences in primary students' geometry learning outcomes in two technology-enhanced environments: dynamic geometry and 3D printing. *International Journal of STEM Education*, 50(7). Doi:<https://doi.org/10.1186/s40594-020-00244-1>

- Pekrun, R., Elliot, A., & Maier, M. (2009). Achievement goals and achievement emotions: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 21(4), 359-386.
- Pise, A. A., Vadapalli, H., & Sanders, I. (2022). Estimation of Learning Affects Experienced by Learners: An Approach Using Relational Reasoning and Adaptive Mapping. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 14. Doi:<https://doi.org/10.1155/2022/8808283>
- Prakash, J., Van Haneghan, W., Blackwell, S., Murugesan, D., Tamilselvan, G., & Tamilselvan. (2019). Classroom engagement evaluation using computer vision techniques. *Pattern Recognition and Training XXX*, 192-199.
- Sharma, K., Papavlasopoulou, S., & Giannakos, M. (2022). Children's facial expressions during collaborative coding: Objective versus subjective performances. *International Journal of Child-computer Interaction*, 34, 1-20. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100536>
- Spector, J., Lockee, B., & Childress, M. (2023). *Learning, Design, and Technology. An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*. Springer Nature.
- Tze, V., Parker, P., & Sukovieff, A. (2022). Control-Value Theory of Achievement Emotions and its Relevance to School Psychology. *Canadian Journal of School Psychology*, 37(1), 23-39. Doi:<https://doi.org/10.1177/08295735211053962>
- Weisberg, S. M. & Newcombe, N. S. (2017). Embodied cognition and STEM learning: overview of a topical collection in CR:PI. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 38(2), 2-6. Doi: [10.1186/s41235-017-0071-6](https://doi.org/10.1186/s41235-017-0071-6)
- Woolf, B., Betke, M., Yu, H., Bargal, S., Arroyo, I., Magee, J., Allesio, D., & Rebelsky, W. (2023). FACE READERS: The Frontier of Computer Vision and Math Learning. *AIED 2023 Workshop: Towards the Future of AI-Augmented Human Tutoring in Math Learning* (pp. 1-13). CEUR Workshop.

Nota de los autores:

Nelly Rigaud Téllez
Profesora de Carrera Titular B, Tiempo Completo
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Roberto Blanco Bautista
Profesor de la División de las Ingenierías
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Viviana Flores Herrera
Profesora-Investigadora
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Mario Sosa Rodríguez
Jefe de la División de las Ciencias Físico-Matemáticas y de las Ingenierías
Facultad de Estudios Superiores Aragón