



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica.

Evaluación del impacto de un sistema tutor adaptativo en línea en la comprensión de la derivada y en las actitudes hacia el cálculo en una universidad privada de Puebla.

Tesis presentada para obtener el título de

Doctor en Sistemas y Ambientes Educativos

Presenta:

Gerardo Rocha Feregrino

Línea de generación y/o aplicación del conocimiento: Modelos de ambientes educativos.

Miembros del Comité Tutorial

Director: Dr. José Antonio Juárez López. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Co-directora: Dra. Olga Leticia Fuchs Gómez. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Evaluadores externos:

Dr. César Alberto Collazos Ordóñez. Universidad del Cauca, Colombia.

Dra. Yunuén Ixchel Guzmán Cedillo. UNAM, México.

Puebla, Pue. agosto de 2021

Dedicatoria

En primer lugar, dedico este trabajo a mi amada esposa Beatriz, por su inmenso amor, paciencia, fe, impulso y apoyo incondicional durante los últimos veintiún años y por supuesto durante toda la realización de este trabajo.

A mis adorados hijos Andrea y Gerardo por su paciencia y tolerancia durante las largas horas de trabajo en las que no pude dedicarles más tiempo. Espero que este logro les sirva como ejemplo e inspiración para que siempre sigan superándose.

A mi mamá que siempre ha creído en mí. Por todo su amor, su amistad y palabras de aliento.

A mi papá † que desde el cielo, sé que disfrutará mucho este logro.

A mis hermanos que siempre han estado conmigo.

A todos mis amigos y compañeros que siempre me han alentado a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis profesores, por todas sus enseñanzas y consejos.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la consecución de los estudios de doctorado.

Agradezco muy especialmente a mi asesor de tesis el Dr. José Antonio Juárez López quien me ha guiado desde el inicio de este trayecto con enorme dedicación. Mi más grande admiración y respeto. Así mismo agradezco a mi co-asesora, la Dra. Lety Fuchs por sus aportaciones, pero sobre todo por sus palabras de apoyo y confianza.

A todos los miembros del Núcleo Académico Básico del Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos: Dra. Josefina Guerrero, Dr. Juan Manuel González, Dra. Yadira Navarro, Dr. Alfonso Cano, Dr. Daniel Mocencagua y al Dr. Iván Olmos.

A los evaluadores externos, Dra. Yunuén Guzmán y Dr. Cesar Collazos por tu tiempo, su dedicación y sus pertinentes consejos para mejorar en todos los aspectos de mi formación.

A mis compañeros del doctorado no solo por sus aportaciones y experiencias, sino por haber contribuido a formar un hermoso grupo de trabajo que ha evolucionado en un buen grupo de amigos.

A mis compañeros del Tecnológico de Monterrey en especial a la Dra. Janet A. Gutiérrez Uribe, al Dr. Gibrán Sayeg Sánchez y al Dr. Genaro Rebolledo Méndez por todo el apoyo que me han brindado para la consecución de este trabajo.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el cambio en la comprensión de la derivada como razón de cambio con el uso de un sistema tutor adaptativo en línea en estudiantes universitarios de primer semestre en una universidad privada de Puebla. El diseño instruccional empleado en el curso siguió los pasos del modelo tecno pedagógico ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación) con un enfoque cognitivista. El diseño del estudio es de tipo cuantitativo y consta de dos etapas: por un lado, la medición de la comprensión de la derivada como razón de cambio con y sin el uso del sistema tutor adaptativo en línea (STAL). En segundo lugar, determinamos la variación en las actitudes hacia el cálculo y en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. Vale la pena aclarar que, aunque las actitudes forman parte del dominio afectivo, el presente trabajo de tesis se enfocó exclusivamente en las actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora, así como en sus componentes de acuerdo con el modelo tripartita: componente afectivo, cognitivo y conductual; y no profundizamos demasiado en las emociones ni en las creencias que pueden ser material de otro trabajo de investigación. Posteriormente se realizó un análisis correlacional entre las dos etapas para verificar la tercera hipótesis de este trabajo de investigación. Es un estudio de tipo cuasiexperimental, de enfoque cuantitativo y de alcance correlacional. Para las primeras dos etapas se realizó un cuasiexperimento pretest-postest con grupo de control. Para la recolección de datos se diseñó un instrumento de medición de la comprensión de la derivada que consta de 14 reactivos, el cual fue sometido a pruebas de confiabilidad y validez. Para la medición de las actitudes se realizaron modificaciones a la escala AMMEC (Actitudes hacia las matemáticas y hacia las matemáticas aprendidas con computadora) de Ursini, Sánchez, y Orendain, (2004) y se volvieron a realizar las debidas pruebas de confiabilidad y validez. De una población de 327

estudiantes de una universidad privada en la Ciudad de Puebla, se obtuvo una muestra $n=70$ la cual se dividió aleatoriamente en grupo de control y grupo experimental. Se aplicaron pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales y se observó con un nivel de significación $\alpha=0.05$, que el uso del STAL arrojó diferencias significativas entre los grupos de control y experimental en la comprensión de la derivada como razón de cambio. Siendo mayor el rendimiento en el grupo experimental que en el de control. Respecto a las actitudes, no se obtuvieron evidencias empíricas que aseguren un cambio significativo provocado por el tratamiento en las actitudes hacia el cálculo ni tampoco en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. Sin embargo, en el análisis por componente, sí se observó que las actitudes cambian más en el componente afectivo que en el cognitivo y conductual.

Palabras clave: enseñanza del cálculo, actitudes hacia el cálculo, sistema tutor adaptativo, tecnologías del aprendizaje y el conocimiento, aprendizaje adaptativo.

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Problema de investigación	10
1.2 Preguntas de investigación.....	13
1.3 Justificación	13
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos particulares.....	16
1.5 Hipótesis	17
1.6 Delimitación del objeto de estudio	17
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	20
2.1 La enseñanza aprendizaje del Cálculo	22
2.2 La computadora en el aprendizaje de las matemáticas	22
2.3 los factores afectivos y las actitudes hacia las matemáticas	27
2.4 Los instrumentos de medición de actitudes	31
2.5 Actitudes hacia las matemáticas con el uso de tecnología.....	32
2.6 Conclusiones del estado del arte	38
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	43
3.1 La Teoría cognitiva.....	44
3.2 La Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia	45

3.3 El uso de “worked examples”	49
3.4 Los principios del aprendizaje multimedia	50
3.5 Los Sistemas Tutores Adaptativos.....	55
3.5.1 El Sistema Tutor Adaptativo WebAssign	58
3.6 El dominio afectivo.....	61
3.6.1 Las actitudes y el modelo tripartita	62
3.7 Marco Epistemológico	66
3.8 El diseño instruccional.....	67
3.8.1 El modelo tecno pedagógico ADDIE.....	68
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	69
4.1 ¿Por qué un enfoque cuantitativo?.....	69
4.2 Trabajo de Campo.....	72
4.2.1 Población y contexto	72
4.2.2 Diseño metodológico.....	72
4.2.3 Población y muestra	73
4.3 Instrumentos de recolección de datos	74
4.3.1 Escalas de medición de actitudes	74
4.3.2 Modificaciones realizadas a la escala AMMEC.	77
4.3.3 Aplicación de la escala de actitudes.....	78
4.3.4 Prueba estandarizada.....	78

4.3.5 Validación de la Prueba para medir la comprensión de la derivada	78
4.3.6 Confiabilidad de los instrumentos.....	80
4.3.7 Análisis factorial de la prueba AMMEC modificada.....	81
4.4 Procedimiento	83
4.5 Pruebas estadísticas.....	84
4.5.1 ¿Por qué una prueba t?	86
4.5.2 Alcances y limitaciones de las pruebas estadísticas planteadas.	87
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	89
5.1 Etapa 1: Medición de la variable comprensión de la derivada con el uso de un STAL.	90
5.1.1 Distribución de frecuencia pretest.....	90
5.1.2 Distribución de frecuencia del postest	92
5.1.3 Interpretación cualitativa de los resultados descriptivos.....	94
5.1.4 Pruebas de hipótesis para la comprensión de la derivada.	96
5.1.5 Elaboración de la Prueba de hipótesis para la comprensión de la derivada.....	98
5.1.6 Tamaño del efecto	100
5.2 Etapa 2: Actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora. 101	
5.2.1 Estadísticos de actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora	107
5.2.2 Análisis por ítem	110

5.2.3 Análisis por componente (modelo tripartita)	113
5.2.4 Cambios actitudinales en el grupo experimental.....	117
5.3 Prueba de hipótesis para las actitudes hacia el cálculo	121
5.4 Pruebas paramétricas para el análisis de las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.....	123
5.5 Correlación entre la comprensión de la derivada y las actitudes hacia el cálculo	125
5.6 Discusión	126
CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN.....	131
6.1 Principales hallazgos.....	131
6.2 Recomendaciones	133
6.3 Trabajos publicados.	134
6.4 Participación en congresos.....	135
6.5 Trabajos futuros	135
Referencias	137
Apéndice A: Escala AMMEC modificada de actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora	155
Apéndice B: Prueba para la medición del aprendizaje de la derivada como razón de cambio	162
Apéndice C: Instrumento de validación por expertos (Método de Agregados Individuales)	176
Apéndice D: Operacionalización de las variables	178

Apéndice E: Matriz de componentes rotada.....	179
Índice de tablas	180
Índice de figuras	182

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El bajo rendimiento académico en matemáticas es uno de los problemas más relevantes en el ámbito educativo en todos los niveles en México. Este problema afecta a todos los involucrados en la educación: alumnos, profesores, padres de familia y a la sociedad en general, ya que el bajo rendimiento en matemáticas provoca repetición de materias, deserción de alumnos en los primeros semestres de la licenciatura, y el hecho de que cada vez menos alumnos elijan estudiar alguna carrera de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) (Holmegaard et al., 2014).

De acuerdo con Andreas Schleicher, estadista e investigador alemán en el área de la educación y Director de Educación y Competencias de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (OCDE, 2018), el bajo rendimiento académico tiene consecuencias a largo plazo tanto para las personas como para los países. Los alumnos con un rendimiento bajo tienen mayor riesgo de abandonar completamente sus estudios; y cuando una gran proporción de la población carece de habilidades básicas, el crecimiento económico de un país a largo plazo se ve amenazado. De hecho, la productividad económica perdida como resultado de malas políticas y prácticas educativas deja a muchos países en un estado permanente de recesión económica. Dicho de otro modo, para los países cuyo puntaje en las pruebas del Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos (PISA) es de mediano a bajo, el valor actual de las ganancias que obtendrían si todos los alumnos de 15 años alcanzaran al menos el nivel básico, sería de 13 veces su producto interno bruto (PIB) actual, y lograrían un crecimiento medio del 28% del PIB en los próximos 80 años. Ante esta

perspectiva vale la pena esforzarnos en la búsqueda de un mejor aprendizaje de nuestros jóvenes.

Las matemáticas se han forjado durante muchos años la fama de ser una materia “aburrida, absurda, inútil, inhumana y muy difícil” (De Guzman, 2007, p. 47), lo cual, es sin duda un fenómeno multifactorial en el que interviene no solo el alumno, sino el profesor y el entorno en el que se desenvuelven, pues en nuestro país es socialmente aceptado que alguien reconozca tener un bajo nivel en matemáticas y es frecuente encontrar alumnos a los que no les interesa aprender, sino que solo les preocupa aprobar (Daza y Garza, 2018). Muchos de estos alumnos que ingresan a la universidad traen consigo sentimientos, emociones y actitudes hacia las matemáticas como miedo, apatía, rechazo, ansiedad, frustración, desinterés, entre otras. A este respecto, diversos investigadores han observado desde hace algunas décadas que el bajo rendimiento académico en matemáticas no es solamente un problema cognitivo, sino que el aspecto afectivo juega un papel muy importante tanto en el aprendizaje como en la enseñanza de las matemáticas y dentro de este aspecto afectivo, se ha observado que las actitudes, tanto positivas como negativas, influyen en el rendimiento académico; (McLeod, 1992; Gómez-Chacón, 2002; Di Martino y Gregorio, 2017; Zan, Brown, Evans, y Hannula, 2006, Nicolaidou y Philippou, 1997, Gómez-Chacón, 2010; entre otros). En el caso particular del cálculo, Cuevas-Vallejo y Pluinage (2009) mencionan citando a Steen (1987), Cuevas y Martínez, (2008) y Baker et.al. (2001) que los porcentajes de reprobación pueden llegar a superar el 70% en algunos casos. En otras palabras, en lo referente al estudio de las matemáticas, lo cognitivo y lo afectivo mantienen una relación de mutua dependencia (Gómez-Chacón, 2000).

A lo largo de 30 años de docencia en el ramo de las matemáticas, el autor ha concordado con

los mencionados autores en que la actitud juega un papel importante en el aprendizaje del cálculo, materia que tiene como operación primordial a la derivada, la cual es de fundamental importancia en la solución de múltiples problemas de ingeniería, negocios, economía y otras áreas del conocimiento.

La comprensión de la derivada sigue siendo uno de los mayores desafíos de la educación matemática a nivel universitario y es una constante preocupación para las instituciones educativas de nivel superior, pues repercute en bajas calificaciones, altos índices de reprobación y abandono de los cursos de Cálculo. (Fuentealba, Badillo y Sánchez-Matamoros, 2018, p. 2).

Por otro lado, el rápido desarrollo de las Tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) ha brindado nuevas posibilidades para integrar la tecnología en la educación en búsqueda de mejorar la enseñanza y el aprendizaje, pero además la tecnología ha demostrado ser parte cotidiana de los estudiantes del siglo XXI. Después de una profunda revisión de la literatura se detectó que los estudios que existen sobre la relación del rendimiento académico de la clase de cálculo con las actitudes de los estudiantes en el nivel universitario son muy escasos, así como los estudios sobre el efecto del uso de la computadora en su aprendizaje y en las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje del cálculo con computadora. Además, los estudios sobre la integración de la tecnología en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas presentan resultados divergentes y “el abordaje de este problema dista mucho aún de encontrar soluciones precisas y efectivas” (García Retana, 2013, p.1). Es por eso que surge la necesidad de contribuir al conocimiento y a la comunidad docente con este estudio para evaluar el efecto que tiene el uso de un sistema tutor adaptativo en línea (STAL) en la comprensión de la derivada como razón de cambio, en las actitudes hacia el cálculo y en las

actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora en estudiantes de primer semestre de licenciatura de una universidad privada de la ciudad de Puebla mediante la búsqueda de respuestas a las siguientes:

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cómo influye el uso de un sistema tutor adaptativo en línea en la **comprensión** del concepto “derivada como razón de cambio” en alumnos de primer semestre de una universidad privada en el estado de Puebla, México?
2. ¿Cómo impacta el uso de un sistema tutor adaptativo en línea en la **actitud** hacia el cálculo diferencial de los alumnos?
3. ¿Cómo impacta el uso de un sistema tutor adaptativo en línea en la **actitud** hacia el cálculo aprendido con computadora?
4. ¿Cuál es la correlación, entre la comprensión de la derivada y las actitudes de los estudiantes hacia el cálculo?

1.3 JUSTIFICACIÓN

“La enseñanza-aprendizaje del cálculo diferencial presenta grandes dificultades respecto a la apropiación significativa del concepto derivada de una función” (Santoyo F., Rangel, Santoyo E. y Puga, 2016). De acuerdo con Artigue, Douady y Moreno (1995), la enseñanza de los principios y conceptos del cálculo (en particular el concepto de límite, derivada e integral) es confusa. Existen diversas investigaciones (Sánchez-Matamoros, García y Linares, 2008, Bingolbali y Monaghan, 2004, Zuñiga, 2007, Robles-Arredondo, Tellechea y Font, 2014, Buendía y Ordóñez, 2009, entre otros) que coinciden en que es posible enseñar a los estudiantes a realizar cálculos de derivadas y a resolver algunos problemas típicos. Sin

embargo, existen grandes dificultades para hacer que los alumnos alcancen una comprensión satisfactoria de los conceptos y métodos de pensamiento fundamentales en la aplicación de los conceptos en la resolución de problemas de la vida real (Artigue et al., 1995). Los alumnos que actualmente estudian una licenciatura han mostrado tener características especiales a diferencia de las generaciones pasadas. Estos alumnos, llamados Millennials, Generación Y o generación del siglo XXI, son personas que actualmente tienen menos de 30 años. Estos jóvenes, que nacieron cuando el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) ya era común y que han crecido en una rápida evolución de tecnologías, están demostrando una disminución en la tolerancia a las clases expositivas; son alumnos que quieren recibir información de forma ágil e inmediata; se sienten atraídos por multitareas y procesos paralelos; prefieren los gráficos a los textos y prefieren instruirse de forma lúdica y no de manera tradicional (Prensky, 2010). De acuerdo con Prezbolde (2014), los alumnos mexicanos de esta generación prefieren aprender de manera autodidacta y gustan de consultar videos de internet como su principal fuente de conocimiento; gustan de trabajar desde casa y les incomodan los horarios de oficina.

Dadas las características de nuestros estudiantes universitarios y considerando que el aprendizaje del cálculo está estrechamente relacionado con la visualización, la representación de objetos matemáticos y los procedimientos, autores como Curri (2012) consideran que la tecnología se ha reconocido como una herramienta y un componente importante para apoyar la visualización y los medios interactivos que ayudan a la representación, razonamiento, cálculo, construcción, exploración y solución de problemas matemáticos.

En los últimos años se ha observado que cada estudiante tiene necesidades, estilos y ritmos diferentes dentro de su proceso de aprendizaje. Algunos dependen mucho de la

retroalimentación y de la orientación de los profesores para confirmar que realmente han aprendido. Esto nos lleva a la necesidad de ahondar en el “aprendizaje personalizado”. Sin embargo, con la creciente cantidad de alumnos en las clases, esto es muy difícil de lograr. Es aquí en donde surge la propuesta de emplear la estrategia educativa de aprendizaje adaptativo con uso de un sistema tutor adaptativo de aprendizaje en línea (STAL) como una propuesta de solución al problema de la baja efectividad académica y las actitudes negativas de los estudiantes hacia el estudio del cálculo.

El aprendizaje adaptativo utiliza lo que se conoce sobre un alumno en particular, *a priori* o mediante interacciones, para modificar dinámicamente el flujo o el contenido de las actividades de aprendizaje (Howard, Remenyi, y Pap, 2006) y por definición, es una estrategia de enseñanza aprendizaje que requiere de las tecnologías modernas que permiten retroalimentar de manera inmediata a los alumnos durante las actividades realizadas en línea o de otro modo dentro de entornos de aprendizaje apoyados por la tecnología. Un aspecto importante de estas tecnologías es su potencial para responder a la situación del alumno a medida que progresa a través de una actividad de aprendizaje. La frase aprendizaje adaptativo se usa para referirse a este tipo de capacidad de respuesta. El informe "Cómo aprenden las personas" de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos se refiere a este interés como "aprendizaje centrado en el alumno", uno de los cuatro aspectos fundamentales de calidad de los entornos de aprendizaje efectivos que reconoce (Howard et al., 2006).

Durante los últimos años, los vídeos e imágenes digitales han ido desempeñando papeles cada vez más importantes en el trabajo docente y en nuestra vida debido a la creciente disponibilidad y accesibilidad de tecnología móvil. Gracias al rápido avance de las nuevas tecnologías, las personas fácilmente pueden tener un dispositivo de proyección de imagen,

como una cámara digital, videocámara o celular inteligente (Smartphone), para captar lo que ven y lo que sucede en la vida diaria.

Finalmente, se considera pertinente el desarrollo de la presente investigación ante conclusiones como las de Cafarella (2014), quien afirma que la investigación empírica sobre la tecnología en los cursos de matemáticas ha sido escasa, y sus hallazgos no han sido contundentes. La mayoría de la investigación sobre tecnología en la enseñanza de las matemáticas publicado en revistas especializadas ha sido dirigida a los primeros doce años de educación (K-12) y son pocos los estudios que hay para poder afirmar si existen o no beneficios en las aulas universitarias con el uso de herramientas multimedia en el aprendizaje de las matemáticas (Zientek, Skidmore, Saxon, y Edmonson, 2015). Más aún, estudios como el de Savelsbergh et al. (2016) han encontrado que existe un efecto negativo significativo a medida que los alumnos crecen, es decir, las actitudes de los adolescentes y adultos son más difíciles de influenciar.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el cambio en la comprensión del concepto de derivada y en las actitudes hacia el cálculo diferencial en estudiantes de una universidad privada en Puebla durante el semestre de otoño de 2019 mediante el uso pedagógico de un sistema tutor adaptativo en línea.

1.4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Elaborar un instrumento para evaluar la comprensión del concepto de derivada como

razón de cambio en un curso de cálculo.

- Adaptar una escala para la medición de actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora.
- Analizar el cambio en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora en alumnos que han utilizado un sistema tutor adaptativo en línea para el estudio de la derivada.
- Analizar la correlación entre la comprensión del concepto de derivada y las actitudes de los estudiantes hacia el cálculo.

1.5 HIPÓTESIS

- 1) El uso de un sistema tutor adaptativo en línea incrementará la comprensión del concepto de derivada como razón de cambio en alumnos de primer semestre de las carreras de ingeniería de una universidad privada de Puebla.
- 2) El uso de un sistema tutor adaptativo en línea incrementará las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.
- 3) Existe correlación positiva entre las actitudes hacia el cálculo y la comprensión del concepto de derivada como razón de cambio.

1.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

En términos generales el problema del fracaso académico en los estudios de matemáticas no ha sido resuelto y siguen sin tener respuesta muchos cuestionamientos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el efecto del uso de un STAL, mediante el método educativo de aprendizaje adaptativo, en el rendimiento académico y en las actitudes hacia las matemáticas de los estudiantes de primer semestre de universidad, en contraste con el aprendizaje sin el

uso de un STAL.

Con los resultados de la investigación se pretende contribuir al conocimiento del ¿cómo aprenden matemáticas los estudiantes?, ¿qué les motiva?, ¿cómo impacta el uso de un sistema tutor adaptativo en línea en el aprendizaje del cálculo?

A pesar de que el éxito o fracaso académico es un asunto multifactorial, en lo que respecta a este trabajo, nos enfocaremos en la evaluación del efecto en la comprensión de la derivada y en las actitudes hacia el cálculo diferencial de los alumnos de primer semestre de licenciatura en una universidad particular de la ciudad de Puebla. En el presente trabajo no se consideran problemas de aprendizaje tales como la discalculia o alguna discapacidad. Algunas otras delimitaciones consideradas son:

- Se partió del supuesto de que los alumnos tienen las habilidades mínimas necesarias para manejar un sistema tutor adaptativo.
- El estudio se delimitó a los estudiantes de una universidad privada en la ciudad de Puebla, México.
- Se asumió que los profesores que participaron en el estudio con los grupos de control siguieron el mismo syllabus y realizaron los mismos ejercicios propuestos.
- Este estudio está delimitado para examinar el efecto de dos métodos de instrucción utilizados en un curso de cálculo universitario en la comprensión de un solo concepto matemático medido con exámenes departamentales.
- El alcance de este estudio es relativamente limitado y se enfoca en el logro en términos cuantitativos (es decir, puntajes de exámenes y escala de actitudes).

- Otra limitación es que los videos están en inglés.
- No todos los temas cuentan con videos interactivos.
- Es difícil saber si los estudiantes están haciendo las tareas solos o si están recibiendo ayuda de otros.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

El estado del arte está dividido en seis partes debido a que consideramos pertinente revisar por separado los temas que abarca el presente trabajo:

(2.1) La enseñanza aprendizaje del Cálculo; (2.2) La computadora en el aprendizaje de las matemáticas; (2.3) Las variables afectivas y las actitudes hacia las matemáticas; (2.4) Los instrumentos de medición de actitudes; (2.5) Actitudes hacia las matemáticas con el uso de tecnología; (2.6) Conclusiones del estado del arte.

Dado que el tema en cuestión es relevante para la educación, se eligieron tres de las bases de datos en las que suelen encontrarse las evidencias primarias para la estrategia de búsqueda. Estas fueron Scopus, ScienceDirect y Eric. Para llevar a cabo la búsqueda se utilizaron diversas palabras clave que han sido encontradas en artículos sobre el tema, así como las combinaciones posibles entre ellas. Las palabras clave fueron: “Attitude towards mathematics”, “adaptive learning”, “multimedia learning”, “intelligent tutoring” y “Computer Assisted Instruction” (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Documentos encontrados en las bases de datos en los años 2014-2021 para distintas combinaciones de descriptores.*

Cadenas de búsqueda	SCOPUS	Science Direct	ERIC
Adaptive learning AND Attitude AND Mathematics	7,027	2,616	23
Mathematics AND “Computer Assisted” AND Attitude	1,498	33	51

Intelligent tutoring AND Attitude AND mathematics	1,103	86	15
“Attitude towards mathematics” AND multimedia	119	6	13
Attitude towards mathematics AND intelligent tutoring	588	25	4
“Attitude towards mathematics” AND “adaptive learning”	18	31	5

Los criterios de inclusión y exclusión se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. *Criterios de inclusión/exclusión*

Actitud hacia las matemáticas	Aprendizaje adaptativo
<p>Inclusión: libros, artículos, informes técnicos y literatura gris que describen estudios empíricos relacionados con las actitudes hacia las matemáticas. Documentos en los que el abstract menciona explícitamente que las actitudes hacia las matemáticas son una de las variables del estudio. Se incluyeron los documentos que además describen estudios sobre las actitudes hacia las matemáticas aprendidas con computadora.</p>	<p>Inclusión: libros, artículos, informes técnicos y literatura gris que describen estudios empíricos relacionados con el aprendizaje adaptativo, aprendizaje multimedia, aprendizaje asistido por computadora. Documentos en los que el abstract menciona explícitamente que el aprendizaje adaptativo (o alguno de los sinónimos es estudiado como parte fundamental de la investigación.</p> <p>Exclusión: estudios que no están directamente relacionados con la educación,</p>

<p>Exclusión: estudios sobre actitudes hacia otra disciplina u objeto distinto a las matemáticas. Estudios que no informaron hallazgos empíricos.</p>	<p>como por ejemplo los estudios sobre el ámbito laboral.</p>
--	---

2.1 LA ENSEÑANZA APRENDIZAJE DEL CÁLCULO

"La enseñanza de los principios del cálculo resulta bastante problemática, y aunque seamos capaces de enseñar a los estudiantes a resolver de forma más o menos mecánica algunos problemas estándar, o bien a realizar algunas derivadas o integrales, tales acciones están muy lejos de lo que supondría una verdadera comprensión de los conceptos y métodos de pensamiento de esta parte de las matemáticas" (Moreno Moreno, 2005, p. 82). El problema de la falta de comprensión y de la habilidad de emplear los conceptos del cálculo en la resolución de problemas reales ha sido estudiado por diversos autores que han propuesto desde argumentaciones teóricas hasta propuestas didácticas para mejorar el aprendizaje (Artigue et al., 1995, Santoyo et al., 2016, Cantoral y Farfán, 2004; Salinas y Alanís, 2009).

2.2 LA COMPUTADORA EN EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS

Dado el número de estudiantes que un profesor de matemáticas a menudo enfrenta, las ventajas que la computadora da para la instrucción personalizada son importantes. En una clase introductoria de matemáticas universitarias en una institución, el instructor puede tener hasta 75 a 80 estudiantes inscritos en un mismo salón de clases. En tal configuración, la interacción individual uno a uno entre el instructor y el estudiante es muy limitada.

Con frecuencia, la enseñanza en el aula se combina con tareas de laboratorio de computación con el fin de proporcionar a un gran número de estudiantes una mayor variedad de opciones para la práctica y ejercitación de matemáticas. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar todos los efectos de reemplazar la orientación del profesor por laboratorios informáticos (Moosavi, 2009). En los últimos años, algunas universidades han confiado en el laboratorio de computación como una fuente principal de enseñanza de clases de matemáticas de primer año, sobre todo en grupos numerosos. En otras palabras, las universidades están utilizando la computadora como una manera de tener clases más grandes y menos contacto de persona a persona. Muchas investigaciones indican que los estudiantes prefieren clases más pequeñas y, presumiblemente, el tamaño de la clase afecta las tasas de retención de estudiantes y las experiencias generales. Por lo tanto, las discusiones sobre las computadoras en el aula deben contextualizarse dentro de preocupaciones más amplias sobre los efectos del uso de computadoras para crear tamaños de clase más grandes.

La matemática constituye una herramienta para modelar y resolver problemas por ser un lenguaje universal, y contribuye al logro del desarrollo del pensamiento lógico, la capacidad de razonar y de enfrentarse a situaciones nuevas y retadoras. Desde las últimas dos décadas del siglo pasado, la tecnología ha tenido cada vez mayor presencia en las aulas, pues gracias al paulatino decremento en los precios de herramientas tecnológicas como la Tablet, las computadoras personales y los teléfonos inteligentes (Smartphone) se ha incrementado la incursión en nuevas técnicas pedagógicas y estrategias didácticas. El sistema de instrucción en línea, WebAssign que se utilizó para la realización de este trabajo tiene ventajas en la realización y calificación de tareas y proporciona una plataforma práctica para la evaluación, sin embargo, su efecto en el aprendizaje de los estudiantes ha mostrado resultados mixtos

(Khan, 2018) y aún no hay conclusiones contundentes al respecto. A continuación, se mencionan algunos trabajos de investigación que fueron relevantes en el presente estudio.

Oktaviyanthi y Supriani (2015), investigaron sobre el uso del software libre hecho por Microsoft para la enseñanza de las matemáticas en estudiantes de bachillerato. En su artículo revelaron que la aplicación de Microsoft Mathematics en el aprendizaje del cálculo mejoró el rendimiento de los estudiantes y mejoró significativamente las actitudes de los estudiantes en relación con el estudio de las matemáticas. Este estudio encontró que los estudiantes que aprendieron haciendo uso del Microsoft Mathematics tuvieron un rendimiento más alto en sus evaluaciones y se observó un efecto positivo en la confianza de los estudiantes hacia las matemáticas. Concluyeron que la visualización interactiva, que es una rama de la visualización gráfica en informática, es un componente esencial que ofrece Microsoft Mathematics. El análisis cualitativo de estos autores arrojó actitudes positivas hacia el uso del software por parte de los alumnos, quienes informaron obtener una mejor comprensión, enriquecer el aprendizaje de las matemáticas y aumentar su motivación para involucrarse más en las actividades de aprendizaje.

De acuerdo con Mayer (1997), el aprendizaje multimedia se refiere a la presentación de material didáctico utilizando desde texto e imágenes, hasta animación, sonido, video, entre otros. Parte del material didáctico puede ser impreso o hablado, mientras que otra parte está conformada por imágenes, gráficos estáticos, ilustraciones, mapas o gráficos dinámicos, como animación o video.

Arroyo, Woolf, Burelson, Muldner, Rai, y Tai, (2014) desarrollaron una investigación sobre el efecto de un sistema adaptativo inteligente llamado Wayang Outpost (ahora MathSpring), junto con una variedad de componentes utilizados en el sistema de aprendizaje aplicado a estudiantes de educación básica a nivel medio superior (K-12). Una importante conclusión

de ese trabajo es que factores cognitivos, afectivos y metacognitivos pueden ser modelados y apoyados por los sistemas tutores inteligentes. Arroyo et al. (2014) demostraron, además, que una variedad de estos factores y sus combinaciones, influyen en el comportamiento del estudiante y en sus resultados de aprendizaje después de usar el software. Este artículo también describe varias evaluaciones que miden el efecto de cada componente diseñado para proporcionar una gama integral de apoyos, basados en los estados cognitivos, metacognitivos y afectivos del alumno. El sistema ayudó a mejorar el rendimiento en matemáticas en pruebas estandarizadas, así como a mejorar el compromiso y los resultados afectivos de los alumnos. Los resultados mostrados en el artículo de Nusir, Alsmadi, Al-Kabi y Sharadgah (2013), sobre el uso del software Math Whizz en una clase de 26 niños en Reino Unido revelaron mejora en las habilidades de matemáticas después de usar este programa interactivo. En dicho estudio, se desarrolló un pequeño programa para estudiantes en edades jóvenes para evaluar el efecto del aprendizaje interactivo en su desarrollo de habilidades de aprendizaje. En sincronización con varios estudios similares, los resultados de Nusir et al., (2013) mostraron que sus métodos pueden ser eficaces sobre todo para jóvenes que son motivados por gráficos y animación, particularmente cuando personajes de dibujos animados conocidos se utilizan en los juegos educativos. El aprendizaje interactivo puede proporcionar una opción muy útil para la educación, especialmente en casos donde no es aplicable enseñar a través de métodos tradicionales, como en el caso de la educación a distancia.

Smith y Suzuki (2015), encontraron en un experimento llevado a cabo en 56 alumnos de un curso de álgebra de una secundaria en Estados Unidos (grupo experimental, $n=32$ y grupo de control, $n=24$), que los alumnos que accedieron a un entorno multimedia suministrado por su profesor de manera semipresencial presentaron un rendimiento significativamente mayor que el obtenido mediante la enseñanza en el aula de clases presenciales. En las pruebas de

hipótesis hallaron diferencias significativas en el grupo experimental, cuyos estudiantes mostraron puntajes mayores en las pruebas de Álgebra II y evaluaron sus experiencias de aprendizaje de manera más positiva que el grupo de control. La autonomía y la libertad concedida a los estudiantes adolescentes para auto gestionar la instrucción y para acceder a las lecciones multimedia fuera del aula facilitaron su motivación para aprender. Smith y Suzuki (2015), recomiendan que futuros estudios enfocados a las necesidades psicológicas de los estudiantes, en diferentes etapas de desarrollo, pueden contribuir a una mayor comprensión del efecto de la instrucción en entornos multimedia.

De acuerdo con Cueli, González-Castro, Krawec, Núñez, y González-Pienda (2016), la literatura existente señala los beneficios de diferentes herramientas tales como los entornos de aprendizaje basados en computadora y los entornos hipermedia dirigidas al desarrollo de la competencia matemática, la solución de problemas, los aspectos afectivo-motivacionales y la intervención en estudiantes con dificultades específicas de aprendizaje en matemáticas. Sin embargo, no existía una herramienta que combinara todas esas variables. El objetivo de su estudio fue presentar y describir el diseño y desarrollo de una herramienta hipermedia llamada Hipatia. Los ambientes hipermedia son, por definición, sistemas adaptativos de aprendizaje que son habitualmente empleados para proporcionar ambientes personalizados de aprendizaje. El trabajo de Cueli et al. (2016) describe los principios en los que se basa la herramienta hipermedia Hipatia, así como, una revisión de las tecnologías disponibles desarrolladas en diferentes áreas académicas. En general, la línea de investigación futura propuesta por Cueli et al. (2016) es analizar el efecto de la herramienta en tres áreas clave: el proceso de aprendizaje de los estudiantes de matemáticas, la autorregulación en esta materia y otras variables afectivo-motivacionales como utilidad percibida, competencia percibida, motivación intrínseca y ansiedad hacia las matemáticas. En México, algunos trabajos

destacados sobre sistemas tutores inteligentes son los de Rodríguez et al., (2013); Cataldi y Lage, (2009) y Cuevas, (2008).

2.3 LOS FACTORES AFECTIVOS Y LAS ACTITUDES HACIA LAS MATEMÁTICAS

Aprender en línea es un proceso complejo que involucra procesos tanto cognitivos como afectivos. En la literatura existe abundante investigación y teoría sobre los procesos cognitivos. Sin embargo, es mucho menos lo que se sabe respecto a los aspectos afectivos (Wu et al., 2016). A pesar de que existe literatura sobre la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas, el dominio afectivo es un área poco explorada en los intentos de mejorar el rendimiento de los estudiantes en los programas de matemáticas. Una revisión clásica de la literatura sobre la actitud hacia las matemáticas ha sido resumida por Aiken (1970). Este autor cubre varios temas importantes, incluyendo métodos para medir actitudes hacia la aritmética y las matemáticas, la distribución y estabilidad de las actitudes matemáticas, los efectos de las actitudes sobre los rendimientos en matemáticas, las relaciones de las actitudes matemáticas con la capacidad y los factores de personalidad y las características, actitudes y comportamiento de los docentes. Aiken (1974) también aclaró en dos escalas de actitud hacia las matemáticas, en dónde hay una distinción entre el disfrute de las matemáticas y el valor de las matemáticas, en las que este último se refiere a la importancia y la relevancia de las matemáticas para el individuo y la sociedad (Karjanto, 2017).

La investigación respecto a la relación de los factores afectivos con el aprendizaje de las matemáticas cobró auge hasta principios de la década de 1980 y ha revelado la importancia de su relación con el éxito de los estudiantes en matemáticas, pues se ha observado que “la

premisa de que el comportamiento puramente cognitivo es extremadamente rara, y que lo que a menudo se toma para la cognición pura en realidad está conformado, si no distorsionado, por una variedad de factores” (Schoenfeld, 1983, p.330). En las últimas dos décadas, se ha prestado una mayor atención a esta relación (actitud-rendimiento académico), particularmente por investigadores en el área de la psicología educativa, así como por investigadores en el campo de la educación matemática como Zan, Brown, Evans, y Hannula (2012), Di Martino y Zan, (2014), Moyer, Robinson y Cai (2018), Gómez Chacón (2000), Matsumoto y Sanders (1988), Pepin (2011), Di Martino y Gregorio (2017), Gómez-Chacón (2010), Lemus y Ursini (2016), entre otros. Estos autores concuerdan en que la importancia de la relación entre los factores cognitivos y afectivos que influyen en el éxito del estudiante en el desarrollo de las matemáticas no se debe ignorar, puesto que el afecto influye en el interés, la necesidad y la motivación para el aprendizaje. Respecto a la cuestión actitudinal del estudiante, Tseng Chang, Lou, y Chen (2013) descubrieron que, aunque muchos jóvenes admiten que la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas es benéfica para el desarrollo económico de su país, en ocasiones prefieren elegir disciplinas que no tengan mucha relación con las matemáticas por temor al fracaso y por no considerarse suficientemente capaces. Esta situación se agrava cuando, además, los conocimientos previos del alumno que ingresa a la universidad no son suficientes. El interés en el aprendizaje decrece progresivamente y como consecuencia provoca un incremento en la actitud negativa hacia dicho aprendizaje. Sin embargo, otros estudios (Barkatsas y Malone, 2005) han encontrado que cuando el alumno se involucra en una actividad en la que está motivado, intrínsecamente tiende a mostrar una serie de comportamientos deseables desde el punto de vista de la pedagogía, incluyendo mayor tiempo de estudio, mayor tolerancia al fracaso, mayor metacognición, selección de tareas más difíciles, mayor creatividad, toma de riesgos,

distintas estrategias de aprendizaje, así como la elección de actividades en las que no exista ninguna recompensa anexa.

El problema de las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas existe en muchos países del mundo. Por ejemplo, Lim-Teo Ahuja, y Lee (2000) realizaron un estudio con 932 estudiantes de siete institutos en Singapur. Se realizó una encuesta entre los alumnos que estudian cálculo y se encontró que, en general, los estudiantes tienen una actitud positiva hacia el cálculo. La mayoría de los 932 estudiantes percibieron que el cálculo es interesante y desafiante. Sin embargo, hallaron motivos de preocupación porque los estudiantes están aprendiendo el cálculo, memorizando y aplicando fórmulas y procedimientos, y presentan dificultades cuando enfrentan enfoques más conceptuales en los niveles universitarios posteriores. Un número sustancial también cree que la práctica es la clave para puntuar bien y, por lo tanto, no ve la necesidad de una comprensión conceptual. Entre sus resultados, los autores encontraron que aproximadamente un tercio de los participantes tienen actitudes negativas hacia el aprendizaje del cálculo. Específicamente, el 70% de los participantes reportaron que el cálculo era difícil y casi el 50% no disfrutaba aprendiendo el cálculo. Alrededor de un tercio de los estudiantes consideraron que el cálculo es aburrido y sugirieron que los profesores deben utilizar formas más interesantes de enseñarlo .

En otro estudio, Lim et al. (2010) midió las actitudes y los rendimientos matemáticos de 984 estudiantes universitarios en Singapur. En este estudio encontró, que a pesar de que tenían actitudes positivas hacia las matemáticas, se observó que carecían de la motivación intrínseca para hacer matemáticas. Los estudiantes fueron motivados extrínsecamente para estudiar matemáticas, pero la relación entre la motivación extrínseca y el rendimiento fue débil. El autor también descubrió que había una correlación positiva significativa entre la motivación intrínseca y el rendimiento académico en matemáticas. Esto es contrario a las creencias de

muchos educadores y padres que creen en recompensas y castigos extrínsecos para fomentar un mejor rendimiento. Se concluyó que, tanto padres como educadores deben enfocarse en construir una motivación intrínseca entre los estudiantes para aumentar la autoconfianza que a su vez conduce a un mayor rendimiento académico.

Elçi (2017) realizó un estudio cuantitativo en estudiantes de preparatoria en Turquía para determinar las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas, investigar estas actitudes de acuerdo con las diferentes variables y revelar los efectos de los enfoques de los profesores de matemáticas y las actividades en clase sobre las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas. El autor aplicó cuestionarios y entrevistas estructuradas. Los resultados mostraron que algunos enfoques y actividades de los maestros de matemáticas fueron importantes mientras se moldeaban las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas. Los enfoques basados en la cognición fueron uno de ellos. En esta categoría, los estudiantes enfatizaron el conocimiento del contenido de los maestros, el uso de ejemplos, la representación de conocimientos matemáticos de una manera diferente, el uso de resolución de problemas y soluciones múltiples, entre otros. El 88% de los estudiantes afirmaron que los conceptos matemáticos no estaban relacionados con el mundo real. En México, uno de los trabajos más relevantes sobre actitudes hacia el cálculo es el de Garza y Daza (2018). Estos autores realizaron una investigación mixta con 149 estudiantes de bachillerato para identificar y caracterizar las actitudes hacia el cálculo diferencial de los alumnos. Dentro de sus hallazgos, hallaron el rechazo de un grupo significativo de estudiantes hacia el cálculo como materia curricular y la manifestación predominante de sentimientos negativos hacia los métodos de enseñanza, los exámenes escritos, las actividades de aprendizaje y la actitud del profesor en el aula. Una reflexión interesante a la que llegaron estos autores fue que la metodología de enseñanza utilizada por el docente es un factor determinante en la actitud

asumida por los estudiantes de cálculo. Así mismo destaca que, en la actualidad, los maestros disponen de una variedad de recursos y estrategias centradas en el alumno y en su proceso de construcción de conceptos matemáticos que deben ser aprovechados. Algunos de estos recursos son sin duda las TIC que brindan formas diferentes de generar ambientes de enseñanza aprendizaje propicios para estimular el aprendizaje del cálculo.

2.4 LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE ACTITUDES

Las primeras investigaciones sobre la actitud hacia las matemáticas enfocaron sus preocupaciones hacia la calidad de los instrumentos que se estaban utilizando para su medición. Estas preocupaciones promovieron el desarrollo de materiales que buscaban medir el “gusto por las matemáticas” y el “valor de las matemáticas” (Aiken, 1974). Preocupaciones similares sobre los instrumentos de medición, han llevado a otros autores a desarrollar diversas escalas en donde se agregaron “percepción del profesor de matemáticas”, “ansiedad hacia las matemáticas”, “autoconcepto en matemáticas” y “motivación en matemáticas” (McLeod, 1994). Sin embargo, los instrumentos de medición más influyentes y mayormente utilizados han sido las “escalas de actitud hacia las matemáticas” de Fennema y Sherman, (1976), Auzmendi, (1992), Galbraith y Haines, (2000), Sánchez y Ursini, (2010), Lemus y Ursini, (2016) Fabian et al., (2016), Fabian et al., (2018). Autores que han trabajado en las últimas dos décadas con la elaboración de escalas para la medición de actitudes hacia el aprendizaje de las matemáticas con el uso de computadora son entre otros: Pierce, Stacey, y Barkatsas (2007), Fogarty et al., (2001) y en México dos de los más reconocidos son por un lado la escala de Ursini, Sánchez, y Orendain, (2004) y por otro el de Daza y Garza, (2018).

2.5 ACTITUDES HACIA LAS MATEMÁTICAS CON EL USO DE TECNOLOGÍA

A finales del siglo XX se vivió un rápido desarrollo tecnológico. Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) rápidamente ingresaron en todos los ámbitos del quehacer humano, y la educación no fue la excepción. Existe una importante cantidad de estudios sobre la contribución de las TIC al desarrollo de niveles cognitivos, así como estudios de la actitud hacia las matemáticas. Sin embargo, los estudios interesados en averiguar el rol de la tecnología en las actitudes y aspectos afectivos son mucho más escasos, tal vez debido a la dificultad de medir y comparar los resultados obtenidos (Gómez-Chacón, 2010). De hecho, el énfasis de los estudios hacia el uso de computadoras ha sido mayoritariamente hacia la interacción con las computadoras como tal, más que sobre el uso de la tecnología en contextos particulares de aprendizaje (Galbraith y Haines, 2000) .

Galbraith y Haines (2000) afirman que, como hay una interacción cognitiva que involucra las matemáticas y el medio a través del cual se aprende, también existe un componente interactivo afectivo paralelo. Galbraith y Haines (1998) realizaron también un estudio previo en 156 estudiantes universitarios y hallaron que “La escala de interacción computadora-matemáticas está más fuertemente asociada con las escalas de confianza computacional (0.61) y motivación computacional (0.68) que con las escalas matemáticas, sugiriendo que las actitudes computacionales son más influyentes que las matemáticas para facilitar la participación activa de actividades relacionadas con la computadora en aprendizaje matemático” (Galbraith y Haines, 1998 p. 286).

Reed, Drijvers, y Kirschner (2009) investigaron las relaciones entre las actitudes, los comportamientos y los resultados del aprendizaje de 521 estudiantes cuando se utiliza una

herramienta informática para aprender sobre un concepto matemático específico. Dentro de sus hallazgos encontraron que, aunque el dominio de las herramientas y los puntajes de las pruebas están íntimamente relacionados, los procesos reflexivos parecen mediar esta relación y se hallaron patrones que respaldan las investigaciones previas en esta área. Por ejemplo, se encontró que los estudiantes con una actitud más positiva hacia las matemáticas obtuvieron puntuaciones más altas en los exámenes. Sin embargo, hubo un efecto negativo inesperado de la actitud hacia las herramientas informáticas matemáticas. Los estudiantes de niveles de educación superior con una actitud más positiva hacia tales herramientas lograron puntajes de prueba más bajos. Los hallazgos de casos cualitativos indicaron que las actitudes más positivas hacia las matemáticas y las herramientas informáticas se relacionan de manera moderada a fuerte con los niveles más altos de comportamientos de aprendizaje orientados a objetivos.

Cretchley y Galbraith (2002) realizaron un estudio con 196 estudiantes de la universidad del sur de Queensland, Australia. En ese estudio se indagó sobre la relación entre cinco factores afectivos de acuerdo con las respuestas de los estudiantes en un programa de matemáticas enriquecido con tecnología. Los factores afectivos estudiados fueron: la confianza de los estudiantes en su capacidad para hacer y aprender matemáticas; la motivación de los estudiantes cuando hacen tareas matemáticas; los niveles de confianza de los estudiantes en el uso de computadoras; la motivación de los estudiantes para usar una computadora en general y las actitudes de los estudiantes hacia el uso de la tecnología en el aprendizaje de las matemáticas. Se utilizó un cuestionario de actitud tipo Likert que contenía los ítems con una escala continua de 1 a 5, donde 1 indicaba un fuerte desacuerdo, 3 una visión neutral y 5 un fuerte acuerdo. Este estudio confirmó una relación débil entre las matemáticas y las actitudes hacia la computadora (confianza y motivación) y que las actitudes de los estudiantes hacia el

uso de la tecnología en el aprendizaje de las matemáticas se correlacionan mucho más con sus actitudes informáticas que con sus actitudes hacia las matemáticas. De acuerdo con estos autores, surgen nuevas preguntas acerca de cómo podemos aprovechar mejor el entusiasmo por las computadoras que tienen algunos estudiantes y qué tipos de tareas matemáticas basadas en computadora podrían aprovechar las actitudes positivas hacia la computadora.

En la revisión de literatura que realizaron Fabian, Topping, y Barron (2016) en 60 documentos sobre el uso de tecnologías móviles y su efecto en las percepciones, actitudes y rendimiento en matemáticas, encontraron que el 77% de los estudios informaron que las tecnologías móviles mejoraron los rendimientos de los estudiantes, pero su efecto en las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas arrojó resultados mixtos. En un artículo de investigación posterior, Fabian, Topping, y Barron (2018) encontraron que el uso de tecnologías móviles provoca una mejora significativa en los puntajes de las pruebas de matemáticas y se vieron respaldadas por las calificaciones significativamente más altas del grupo experimental en comparación con el grupo de control. Estos resultados indican que el uso de las tecnologías móviles provoca respuestas positivas de los estudiantes tanto en términos de cómo perciben las actividades móviles como en la mejora de su rendimiento. Sin embargo, el efecto en las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas por el uso de tabletas no mostró un aumento positivo en los estudiantes por lo que, de acuerdo con estos autores, tendrá que ser más investigado. Li y Ma (2010) afirman, por su parte, que otros factores que pueden contribuir a la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas con la tecnología son las características del alumno. El rendimiento, el comportamiento y la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas y a la tecnología pueden depender de su género, nivel de grado, nivel de habilidad y nivel socioeconómico. Algunos de los autores más citados en el tema de la relación al proceso de aprendizaje de matemáticas usando

computadora son entre otros: Pierce, Stacey, y Barkatsas (2007), Fogarty, Cretchley, Harman, Ellerton, y Konki (2001), Cretchley y Harman (2001) . En América Latina existen importantes aportaciones al estudio de la relación actitud-computadora-aprendizaje de las matemáticas. Tal es el caso de Vera, González y Maldonado (2018) quienes realizaron un estudio con 200 estudiantes de ingeniería en una universidad de Ecuador. En México son importantes los trabajos de Lemus y Ursini (2016), Ursini, Sánchez, Butto, et al., (2004). El trabajo de Lemus y Ursini (2016) es un estudio exploratorio, cuyo propósito fue analizar las creencias y las actitudes hacia las matemáticas de estudiantes mexicanos de último año de bachillerato y, a partir de esta información explorar la intención de elección de carrera. Para determinar las actitudes hacia las matemáticas se aplicó la escala Actitudes hacia las matemáticas y hacia las matemáticas aprendidas con computadora (AMMEC) y para determinar las creencias se aplicaron cuatro sub-escalas del cuestionario de Fennema-Sherman. Los resultados sugirieron que no hay una relación directa entre tipo de actitud y tipo de creencias, pero si se perfilan asociadas con la intención de elección de carrera. Los principales hallazgos de algunos de los autores mencionados se pueden ver en la tabla 3.

Tabla 3. *Principales aportes de algunos autores relevantes*

Autor	Principales hallazgos
(Arroyo et al., 2014)	Se logró una mayor participación de los estudiantes apoyando la metacognición y la motivación de los estudiantes. En conjunto, estos estudios dilucidan una serie de estrategias efectivas para respaldar el aprendizaje personalizado avanzado a través de compañeros de aprendizaje afectivo e informes de progreso. Un tutor inteligente adaptable puede

-
- adaptarse a las necesidades individuales, las emociones, los estados cognitivos y las habilidades metacognitivas de los estudiantes.
- (Elçi, 2017) El estudio mostró que las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas difieren según el género y puntaje de matemáticas, pero no según el grado, y que **los enfoques y actividades de los maestros impactaron las actitudes** de los estudiantes hacia las matemáticas en algunos aspectos.
- (Karakis et al., 2016) Los análisis mostraron que las **actividades del material educativo** desarrollado afectaron positivamente la actitud de los estudiantes hacia la instrucción asistida por computadora y aumentaron su éxito académico
- (Savelsbergh et al., 2016) Desde una postura teórica, consideraron la actitud como un constructo multidimensional que comprende: relevancia percibida (personal y social), interés (escuela, ocio, carrera), autoeficacia y normalidad de los científicos.
- Encontraron un efecto negativo significativo para el nivel de grado, lo que implica que las actitudes de los niños mayores son más difíciles de influenciar.
- Se investigó si la promoción de una actitud positiva influiría en el rendimiento académico. Sin embargo, **no se encontró correlación entre el efecto de la intervención en la actitud y su efecto en el logro.**

- (Cárdenas-Robledo y Peña-Ayala, 2018; Gallego-Lema et al., 2017) El aprendizaje ubicuo es capaz de transformar la educación tradicional proporcionada a nivel de aula y mediante e-learning. Principalmente, esto se debe a que los estudiantes, pertenecientes a diversos niveles académicos, **experimentan entornos reales y auténticos**, están inmersos en escenarios de doble realidad, se benefician del apoyo contextual, aprenden diversos dominios educativos, siguen paradigmas de aprendizaje adecuados, manejan diversos efectos e interactúan con diferentes dispositivos y tecnologías.
- (Fabian et al., 2016) Las actitudes de los estudiantes hacia el **uso de tecnología móvil** fueron en su mayoría positivas, pero su efecto sobre las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas arrojó resultados mixtos.
- (Fabian et al., 2018) La actitud de los estudiantes hacia las matemáticas, según lo evaluado por un inventario de actitudes matemáticas, no encontró ningún cambio significativo para ambos grupos, excepto por la disminución significativa en el **disfrute** para el grupo de control.
- Los resultados indican que el uso de las tecnologías móviles provoca respuestas positivas de los estudiantes tanto en términos de cómo perciben las actividades móviles y cómo mejoró su rendimiento, pero se debe investigar más su efecto en las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas.

- (Faber et al., 2017) El análisis multinivel reveló efectos positivos en el logro y la motivación de los estudiantes. Las mediciones de intensidad de uso de los estudiantes apoyan los efectos encontrados en el logro y la motivación de los estudiantes. Además, los **efectos en el rendimiento** fueron mayores para los estudiantes de alto rendimiento.
- (Muthulakshmi y Veliappan, 2016) Encontraron que existe una diferencia significativa en las puntuaciones posteriores a la prueba entre los grupos de control y experimentales con respecto a la actitud hacia las matemáticas. **La instrucción con tecnología tuvo un efecto directo en la actitud hacia las matemáticas y en el proceso de enseñanza y aprendizaje.** Concluyeron que **la multimedia tiene un gran potencial** y juega un papel vital en la educación y que los métodos de enseñanza convencionales no son suficientes para despertar el interés en las matemáticas.

2.6 CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE

Aunque el uso de las TIC tiene un gran potencial para impactar la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, la sola presencia de estas no produce automáticamente resultados de escolaridad deseables en la educación matemática (Li y Ma, 2010). El uso exitoso y efectivo de la tecnología para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas depende de estrategias sólidas de enseñanza y aprendizaje que provienen de un conocimiento profundo de los efectos de la tecnología en la educación matemática por parte del docente (Albright y Graf, 1992; Coley et al., 2000, citados por Li y Ma, 2010).

Estamos de acuerdo con autores como Ruffell, Mason, y Allen (1998), Pierce et al. (2007) Hemmings, Grootenboer, y Kay (2010), en que las actitudes pueden cambiar de negativas a positivas, y en particular, que una buena enseñanza puede tener tal efecto. Además, es necesario explotar las ventajas que ofrece el uso de la tecnología móvil a los estudiantes, como el tener acceso a la información por diferentes vías: sus profesores, sus compañeros, aplicaciones de software, etcétera (Fabian et al., 2016), así como la ventaja de la flexibilidad en cuanto a dónde, y en qué momento el estudiante desea aprender. Ling, Tsai y Waeberg, (1983) propusieron que los estudios deberían considerar vincular las teorías pedagógicas con el aprendizaje basado en la tecnología, y esto es un hueco que en la mayoría de los estudios aquí citados no se ha abordado. Los resultados limitados y diferenciados de los efectos en las actitudes hacia las matemáticas siguen siendo una laguna en la literatura del aprendizaje móvil (Fabian et al., 2018). La tabla 4 muestra algunos trabajos que han sido relevantes en el presente estudio, así como el país de origen, la publicación en la que se encuentra y el enfoque.

Tabla 4. *Investigaciones relevantes*

Autores	Título	Año	País	Publicación	Enfoque
(Beal et al., 2007)	On-line Tutoring for Math Achievement Testing: A Controlled Evaluation	2007	USA	<i>Journal of Interactive Online Learning</i>	Cuantitativo
(Arroyo et al., 2014)	A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition,	2014	USA	<i>International Journal of Artificial Intelligence in Education</i>	Cualitativo

	Metacognition and Affect				
Graff et al.	Evaluating a web based intelligent tutoring system for mathematics at German lower secondary schools	2008	Alemania	<i>Education and Information Technologies</i>	Cuantitativo
De Witte, Haelermans, & Rogge	The effectiveness of a computer-assisted math learning program	2015	Países bajos y Bélgica	<i>Journal of Computer Assisted Learning</i>	Cuantitativo
(Bray y Tangney, 2016)	Enhancing student engagement through the affordances of mobile technology: a 21st century learning perspective on Realistic Mathematics Education	2016	Irlanda	<i>Mathematics Education Research Group of Australasia</i>	Mixto
(Pilli y Aksu, 2013)	The effects of computer-assisted instruction on the achievement, attitudes and retention of fourth grade mathematics students in North Cyprus	2013	Chipre	<i>Computers & Education</i>	Cuantitativo
(Özyurt et al., 2013)	Integration into mathematics classrooms of an adaptive and intelligent individualized e-learning environment:	2013	Turquía	<i>Computers in Human Behavior</i>	Mixto

	Implementation and evaluation of UZWEBMAT				
(Cueli et al., 2016)	Hipatia: a hypermedia learning environment in mathematics	2016	España	<i>Anales de psicología</i>	
(Muthulakshmi y Veliappan, 2016)	Effectiveness of an In teractive Multimedia Learning package in developing attitude towards mathematics	2016	India	<i>Journal on School Educational Technology</i>	Cuantitativo
(Elçi, 2017)	Students' attitudes towards mathematics and the impacts of mathematics teachers approaches on it	2017	Turquía	<i>Acta Didactica Napocensia</i>	Cuantitativo
(Hannula et al., 2016)	Attitudes, Beliefs, Motivation and Identity in Mathematics Education	2016	Alemania	<i>ICME 13</i>	
(Chiu et al., 2017)	Learner expertise and mathematics different order thinking skills in multimedia learning	2017	Taiwan	<i>Computers & Education</i>	Cuantitativo
(Al-Emran et al., 2016)	Investigating attitudes towards the use of mobile learning in higher education	2016	Omán	<i>Computers in Human Behavior</i>	Cuantitativo
(İbili y Şahin, 2015)	Investigation of the effects on	2015	Turquía	<i>Journal of Science and</i>	Mixto

	Computer Attitudes and Computer Self-Efficacy to use of Augmented Reality in Geometry Teaching			<i>Mathematics Education</i>	
Lemus y Ursini (2016),	Creencias y actitudes hacia las matemáticas. Un estudio con alumnos de bachillerato	2016	México	<i>Investigación en Educación Matemática XX</i>	Cuantitativo
(Sánchez y Ursini, 2010)	Actitudes hacia las matemáticas y matemáticas con tecnología: estudios de género con estudiantes de secundaria	2010	México	<i>Relime</i>	Cualitativo
(Ursini, Sánchez, Butto, et al., 2004)	El uso de la tecnología en el aula de matemáticas	2004	México	<i>Enseñanza de las ciencias</i>	

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

Como se ha comentado anteriormente, no sería suficiente estudiar el aprendizaje de las matemáticas con computadora desde una sola postura teórica, pues en su proceso influyen factores cognitivos, motivacionales y afectivos, entre otros. Este trabajo se fundamentó en las siguientes teorías educativas que se desglosan a lo largo de este capítulo:

- Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Mayer, 2005)
- El dominio afectivo (McLeod, 1992)

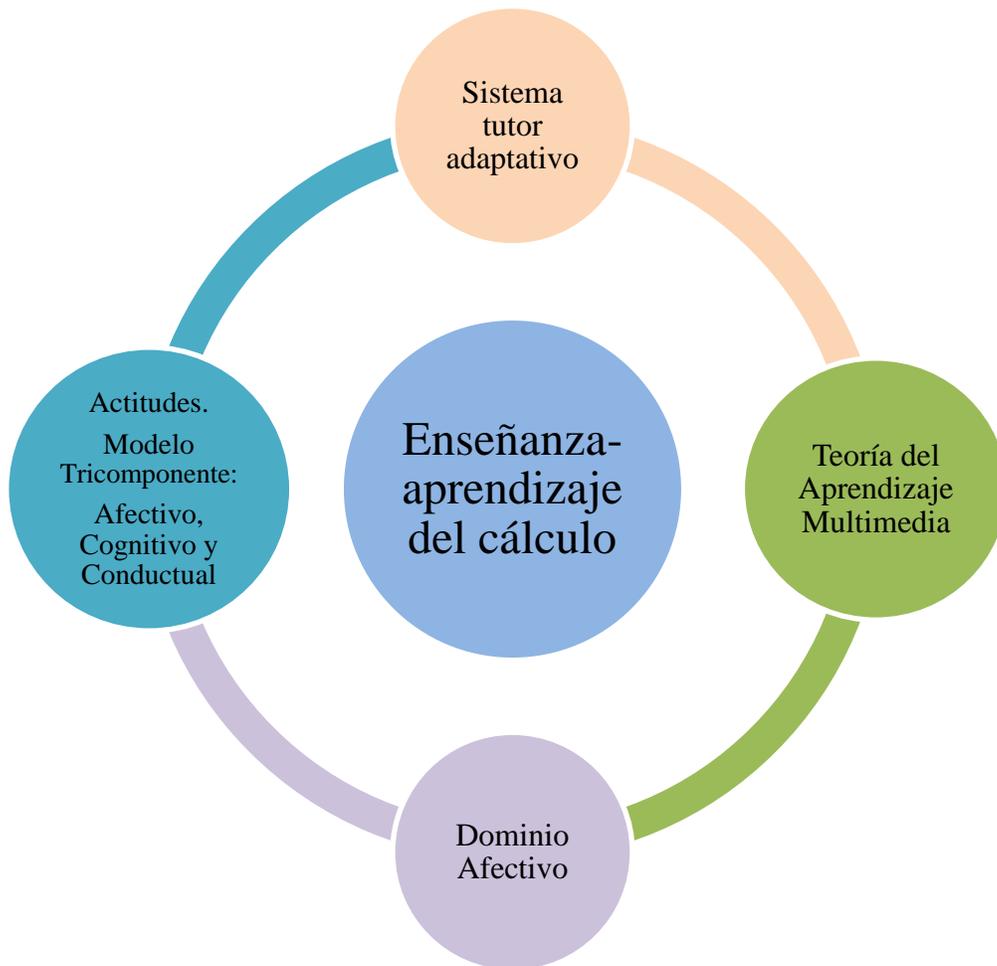


Figura 1. Esquema del marco teórico

3.1 LA TEORÍA COGNITIVA

El cognoscitivismo es una teoría del conocimiento encauzada a la comprensión de los entes basándose en la percepción de las cosas y de sus relaciones e interacciones. Es una corriente en la cual el alumno construye su propio aprendizaje y participa de manera activa para lograrlo, y en la que el docente juega el rol de guía o facilitador. El aprendizaje se lleva a cabo mediante la interacción de diversos aspectos asentados en la memoria, independientemente que hayan ocurrido en tiempos y espacios diferentes, pueden hacerse converger para producir un nuevo conocimiento producto de la razón, y de la lógica. Esta corriente psicológica estudia los procesos mentales tales como la percepción, la memoria, la sensación, el pensamiento, el raciocinio y la resolución de problemas. Toma como referencia el desarrollo del aprendizaje. La búsqueda de una teoría del aprendizaje para mejorar las habilidades metacognitivas de los estudiantes condujo a la teoría cognitiva del aprendizaje. La teoría cognitiva tiene cuatro suposiciones: (a) El aprendizaje es un proceso activo en lugar de uno pasivo; (b) Las personas deben pensar en un problema y reducir la ambigüedad antes de que puedan llegar a una solución; (c) El impulso motivacional es intrínseco; y (d) Antes de que un alumno pueda resolver un problema, necesita poder ver las partes que definen el problema de diferentes maneras (Casazza y Silverman, 1996). Al discutir el proceso de enseñanza/aprendizaje, Casazza y Silverman (1996) señalaron que un proceso eficaz aumenta la conciencia de los propios procesos de pensamiento y alienta al alumno a asumir gradualmente la responsabilidad del aprendizaje.

En la teoría cognitiva, el alumno tiene un papel activo en el que el profesor no imparte los contenidos de forma terminada, sino que da a conocer una meta a la que los alumnos deben llegar por sí mismos. A medida que los alumnos trabajan en las tareas se dan cuenta de que

están progresando hacia sus objetivos de aprendizaje lo que se traduce en un indicador de que es posible conseguir un buen desempeño (Schunk, 2012). El conocimiento matemático en el sujeto como individuo evoluciona tanto cualitativa como cuantitativamente en cuanto a la comprensión y la extensión. El enriquecimiento intelectual no consiste únicamente en descubrir nuevas verdades, sino en cambiar las perspectivas o desarrollar nuevos puntos de vista sobre el conocimiento que ya existe (González y Ortiz, 2000).

La teoría cognitiva contiene cinco conceptos básicos que pueden manifestarse en cualquier edad del individuo (Mae, 2015):

1. Aprendizaje por Observación. Aprender de otras personas por medio de su observación es una manera eficaz de obtener conocimiento y modificar la conducta.
2. Reproducción. El proceso en donde existe el objetivo de aumentar eficazmente la repetición de un comportamiento ubicando al individuo en un ambiente cómodo con materiales fácilmente accesibles para motivarlo a guardar los conocimientos y comportamientos nuevos aprendidos y ponerlos en práctica.
3. Autosuficiencia. La situación en donde el aprendiz mejora el conocimiento o comportamiento recién aprendido poniéndolo en práctica.
4. Defensa emocional. Los buenos mecanismos de defensa contra un ambiente estresante y características personales negativas pueden provocar un aprendizaje efectivo, especialmente en los adultos.
5. Capacidad de Autorregulación. La capacidad de controlar el comportamiento, incluso en un entorno desfavorable.

3.2 LA TEORÍA COGNITIVA DEL APRENDIZAJE MULTIMEDIA

Como se ha mencionado, en el aprendizaje cognitivo el alumno tiene un papel activo. El

profesor no imparte los contenidos de forma terminada, sino que luego de una primera instrucción, da a conocer una meta a la que los alumnos deben llegar por sí mismos. El alumno es el principal responsable de su aprendizaje. El enfoque cognitivo hace énfasis en el aprendizaje significativo, la participación activa del estudiante en el proceso de aprendizaje y la estructuración, organización y secuencia de la información para facilitar su óptimo procesamiento (Otero, 2014)

El aprendizaje multimedia por su parte tiene la premisa de que si utilizamos diferentes medios (videos, texto, imágenes, audio, animaciones, etc.) podríamos incrementar la posibilidad de que al menos uno de estos medios sea eficaz para cada alumno. La teoría que se ha adoptado para la elaboración de este trabajo de tesis es la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, cuyo autor principal Richard Mayer, (2019) define como:

...aprender de palabras e imágenes. En el aprendizaje multimedia, las palabras pueden imprimirse o hablarse, y las imágenes pueden ser estáticas (como ilustraciones o fotos) o dinámicas (como animaciones o videos). La instrucción multimedia ocurre cuando los estudiantes reciben palabras e imágenes destinadas a promover el aprendizaje, incluidos libros de texto ilustrados, animaciones narradas basadas en computadoras, juegos de computadora interactivos que contienen palabras y gráficos en pantalla, y presentaciones de diapositivas cara a cara.

Richard E. Mayer, de la Universidad de California (Santa Bárbara), integró la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994), la Teoría de la Codificación Dual (Clark y Paivio, 1991) y el Modelo de Memoria de Trabajo (Baddeley, 1983), y las aplicó a la multimedia. A este resultado Mayer lo llamó Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (Andrade-

Lotero, 2012). La teoría de la carga cognitiva de Sweller se basa en dos ideas comúnmente aceptadas. La primera es que hay un límite de cuánta nueva información puede el cerebro procesar al mismo tiempo. La segunda idea afirma que no hay límites para cuánta información “almacenada” puede ser procesada a la vez. El objetivo de la investigación en carga cognitiva es, por tanto, desarrollar técnicas de instrucción y recomendaciones que encajen con las características de la memoria de trabajo con el fin de maximizar el aprendizaje. La teoría de la carga cognitiva se basa en otras teorías ampliamente aceptadas sobre cómo el cerebro humano procesa y almacena la información (Gerjets et al., 2009). Estas ideas conducen a que la memoria puede dividirse en memoria de trabajo y memoria a largo plazo. La memoria de trabajo es el sistema de memoria donde “pequeñas” cantidades de información se almacenan durante un muy breve periodo de tiempo. Se podría decir que la memoria de trabajo se equipara con aquello en lo que conscientemente estamos pensando en cada momento. Clark, Kirschner y Sweller, (2012) lo llaman el “espacio mental limitado en donde pensamos”. La memoria a largo plazo es el sistema de memoria donde se almacenan grandes cantidades de información de forma semipermanente (Atkinson y Shiffrin, 1968; Tulving, 1986).

Clark y Paivio, (1991) por su parte, sostienen que hay subsistemas separados en el cerebro para la representación de la información verbal y visual. Tanto la elaboración de un texto por parte de los estudiantes como el uso de ejemplos concretos por parte de los profesores, por ejemplo, pueden aumentar la probabilidad de que el material por aprender evoque imágenes visuales, y este mecanismo de imágenes compartidas podría contribuir a los efectos sobre la comprensión y el aprendizaje. De manera similar, los procesos metacognitivos de estudiantes y maestros involucran mecanismos verbales compartidos mediante los cuales el diálogo

interno guía y controla el comportamiento (por ejemplo, "piense en un ejemplo"; "haga un resumen"). Paivio desarrolló en 1971 la teoría de la codificación dual (TCD), la cual es una caracterización empíricamente bien fundamentada de los procesos mentales que subyacen en la conducta y la experiencia humanas. La TCD explica los fenómenos psicológicos mediante la acción colectiva de los sistemas mentales no verbales y verbales que están especializados para el procesamiento de imágenes e información lingüística, respectivamente. Los mecanismos teóricos de la TCD y los fenómenos empíricos asociados son relevantes para varios aspectos de la cognición humana, así como para la emoción, las habilidades motoras y otros dominios psicológicos. Por su parte Baddeley (1983) propone que la memoria a corto plazo consiste en dos búfers (espacios de memoria temporal) que son parcialmente independientes entre sí. El búfer visoespacial se utiliza para almacenar temporalmente la información visual, y el área fonológica se utiliza para la información auditiva (Swann, 2013). Basados en estas ideas, Mayer y Moreno, (2003), preocupados por la sobrecarga cognitiva en la que el procesamiento cognitivo previsto del alumno excede su capacidad cognitiva disponible, propusieron las bases del aprendizaje multimedia. Primero, propusieron una teoría del aprendizaje multimedia basada en los supuestos de que los seres humanos poseen sistemas separados para procesar material pictórico y verbal (supuesto de doble canal), cada canal está limitado en la cantidad de material que se puede procesar al mismo tiempo (supuesto de capacidad limitada), y el aprendizaje significativo implica el procesamiento cognitivo que incluye la construcción de conexiones entre las representaciones pictóricas y verbales (supuesto de procesamiento activo). En segundo lugar, basándose en la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, examinaron el concepto de sobrecarga cognitiva en el que el procesamiento cognitivo pretendido por el alumno excede la capacidad cognitiva disponible del alumno. En tercer lugar, examinaron cinco escenarios

de sobrecarga para reducir la carga cognitiva. En general, su análisis muestra que la carga cognitiva es una consideración central en el diseño de la instrucción multimedia.

3.3 EL USO DE “WORKED EXAMPLES”

Un enfoque de la carga cognitiva que ha aparecido en algunas investigaciones es el de “worked examples” (el manejo de ejemplos trabajados o resueltos), las cuales han demostrado que cuando a los estudiantes se les presentan pares de ejemplos-problema en lugar de problemas solamente, alcanzan resultados de aprendizaje superiores porque la capacidad de la memoria de trabajo no está sobrecargada (Kalyuga et al., 2001; Chen et al., 2015). La estrategia como la que propone el efecto “worked examples”, en la que los ejemplos deben ser trabajados de tal manera que los pasos resueltos dependan de la habilidad cognitiva en el manejo del tema, con la que el estudiante cuente es una de las estrategias de trabajo con la que funciona WebAssign.

Una pregunta importante de investigación para los educadores se refiere a si hay algún beneficio en el aprendizaje cuando se agregan elementos multimedia a la enseñanza, a lo cual Mayer, (2019) llama investigación de valor agregado. A su vez, uno de los ideales del aprendizaje significativo es que el alumno emplee sus conocimientos previos en la adquisición de nuevo conocimiento. A este enfoque en los efectos del aprendizaje previo para aplicarlo en nuevo aprendizaje se le denomina transferencia, la cual ha sido ampliamente estudiada tanto en psicología como en educación desde que existen estas disciplinas. En este trabajo de tesis se llevará a cabo una investigación de valor agregado al averiguar si el empleo de elementos multimedia tiene un efecto positivo en la transferencia de los estudiantes de cálculo en la universidad.

3.4 LOS PRINCIPIOS DEL APRENDIZAJE MULTIMEDIA

Durante los últimos años, el aprendizaje multimedia se ha convertido en importante e interesante tema en el campo de las técnicas didácticas. Richard Mayer está considerado como el psicólogo educacional más relevante de los últimos años y es uno de los referentes más importantes en la metodología del diseño e-learning. Mayer ha realizado más de 100 experimentos cuya finalidad es entender cómo aprenden las personas cuando se conjuntan la cognición, la instrucción y la tecnología. Basándose en investigaciones de teorías cognitivas, el Dr. Mayer desarrolló su propia teoría cognitiva del aprendizaje con multimedia, la cual tiene importante relevancia en el diseño de la instrucción en línea. Las investigaciones de Mayer resultaron en el establecimiento de once principios básicos del aprendizaje multimedia y de su diseño. Estos principios tienen como objetivo ayudar en la enseñanza para que las personas transfieran lo aprendido a situaciones completamente nuevas. Los principios de aprendizaje multimedia de Richard Mayer se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. *Los Principios multimedia.*

Principio	Descripción
1) Principio de multimedia	Las personas aprenden mejor cuando los contenidos se muestran con imágenes y texto, que si solo se presentan textos.
2) Principio de contigüidad	Las personas aprenden mejor cuando el texto y sus imágenes están cerca unas de otras y no separadas,

de forma en que exista un punto en donde centrar la atención.

- 3) Principio de temporalidad Las personas aprenden mejor cuando los textos y sus correspondientes imágenes se despliegan en la misma pantalla simultáneamente.
- 4) Principio de modalidad Las personas aprenden mejor de imágenes y voz que de imágenes y textos.
- 5) Principio de redundancia Las personas aprenden mejor cuando las imágenes utilizadas son explicadas con narración o con texto escrito, pero no con ambas a la vez.
- 6) Principio de coherencia Las personas aprenden mejor cuando eliminamos de la pantalla palabras, sonidos e imágenes que no tienen relación directa con el contenido.
- 7) Principio de señalización Las personas aprenden mejor cuando se agregan señales que indican en dónde poner más atención: Negritas, flechas, círculos, zoom, texto resaltado, etc.

- 8) Principio de segmentación Se aprende mejor cuando los contenidos están divididos en pequeños apartados y se puede navegar libremente entre ellos.
- 9) Principio de pre-entrenamiento Las personas aprenden mejor en una lección multimedia cuando conocen los nombres y características de los conceptos principales antes de ver los contenidos desarrollados.
- 10) Principio de personalización Las personas aprenden mejor en un ambiente multimedia cuando se les habla en un lenguaje conversacional más que en un lenguaje formal.
- 11) Principio de la voz La gente aprende mejor en ambientes multimedia cuando la narración es una voz humana amigable que cuando es una voz robótica generada por la computadora.

Nota: Fuente <http://www.alejandraavila.com/11-principios-de-aprendizaje-multimedia/> y <http://elearningmasters.galileo.edu/2018/09/27/aprendizaje-con-multimedia/>

Para llevar a cabo un estudio de valor agregado, Mayer (2019) sugiere comparar los resultados de aprendizaje de un grupo de estudiantes que recibieron sólo palabras con los resultados de aprendizaje de otro grupo de estudiantes que recibieron palabras e imágenes. De esta manera se puede detectar el valor de añadir multimedia al texto. Para medir los

resultados de aprendizaje, se emplearán elementos de retención (que miden cuánto recuerdan las personas), así como elementos de transferencia para medir qué tan bien los alumnos emplean lo que han aprendido en nuevas situaciones.

La figura 2 muestra un modelo del sistema de procesamiento de información del alumno con el que se puede entender el funcionamiento del multimedia. Los cuadros representan tres almacenes de memoria en el sistema de procesamiento de información del alumno: la memoria sensorial, que contiene brevemente lo que entra a través de los ojos y de los oídos del alumno; la memoria de trabajo, que puede sostener temporalmente y manipular algunos sonidos e imágenes; y la memoria a largo plazo, que es el almacén permanente del conocimiento del alumno.

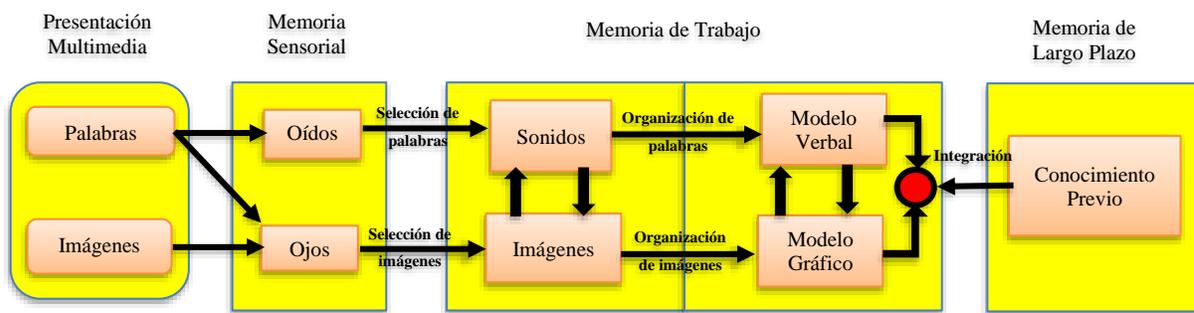


Figura 2. Modelo del sistema de procesamiento de información del alumno. Fuente: Mayer (2019).

Las flechas representan los tres procesos cognitivos básicos en el sistema de procesamiento de información del alumno:

- 1) Seleccionar imágenes y sonidos entrantes para su posterior procesamiento en la memoria de trabajo.
- 2) Organizar las imágenes en una representación gráfica coherente y organizar los sonidos en una representación verbal coherente en la memoria de trabajo.

- 3) Integrar las representaciones gráficas y verbales entre sí y con conocimientos relevantes activados desde la memoria a largo plazo.

El modelo del sistema de procesamiento de información del alumno mostrado en la figura 2 se fundamenta en tres principios derivados de la investigación en ciencia cognitiva: el principio de los canales duales, el principio de capacidad limitada y el principio de procesamiento activo. El principio de los canales duales establece que las personas tienen canales separados para procesar información visual y verbal (Clark y Paivio, 1991). El principio de capacidad limitada establece que las personas pueden procesar sólo unos pocos elementos en cada canal en la memoria de trabajo en cualquier momento (Baddeley, 1999; citado por Mayer, 2019). Y finalmente el principio de procesamiento activo establece que el aprendizaje significativo ocurre cuando las personas participan en un procesamiento cognitivo adecuado durante el aprendizaje (Mayer, 2009; Wittrock, 1989), incluyendo la selección de información entrante, su procesamiento, la organización mental del material seleccionado, y la integración de las representaciones visuales y verbales entre sí y con los conocimientos relevantes activados desde la memoria a largo plazo. El objetivo de la instrucción multimedia es presentar el material que debe aprender el alumno y ayudarlo a guiar su procesamiento cognitivo durante el aprendizaje.

Diferentes alumnos procesarán el material de diferentes maneras. Si los elementos del material que requieren procesamiento se incorporan en un esquema automatizado, la carga de memoria de trabajo (o carga cognitiva) será baja. Los esquemas permiten que muchos elementos se traten como un solo elemento en la memoria de trabajo, y el procesamiento automático limita las demandas de memoria funcional en comparación con el procesamiento controlado y consciente (Schneider y Shiffrin, 1977 citado por Tuovinen y Sweller, 1999)). Como consecuencia, si un alumno ha adquirido esquemas automatizados adecuados, la carga

cognitiva será baja y es probable que los recursos sustanciales de la memoria de trabajo estén libres. Por el contrario, si los elementos del material que requieren procesamiento deben considerarse como un elemento discreto en la memoria de trabajo porque no hay ningún esquema disponible, la carga cognitiva será alta. La memoria de trabajo puede estar completamente ocupada en el procesamiento de un gran número de elementos individuales. Las tendencias en la enseñanza de las matemáticas deben estar enfocadas en el desarrollo de los procesos de pensamiento propios de la matemática, y no en la pura transmisión de información. Dicho en otras palabras, se debe dar preferencia, sobre todo, al saber hacer por encima del puro resultado. En las matemáticas el método claramente predomina sobre el contenido, por lo que debe darse importancia al estudio de las cuestiones cercanas a la psicología cognitiva que se refieren a los procesos mentales de resolución de problemas (De Guzmán, 2001).

3.5 LOS SISTEMAS TUTORES ADAPTATIVOS

La introducción de las computadoras en la educación en la búsqueda de aprovechar las ventajas de un ambiente virtual condujo a la creación de sistemas de educación basados en la interacción enseñanza-aprendizaje como una iniciativa para mejorar los tradicionales modelos educativos expositivos con alumnos receptivos y pasivos. La introducción de la computadora a la educación trajo consigo en primer lugar los CAI (Computer Aided Instruction, del inglés Enseñanza Asistida por Computadora), que consistía en representar la estructura de la materia a enseñar y la transmitía siguiendo los métodos tradicionales de enseñanza. Eran materiales estáticos, lo cual lo limitaba en la interacción con los alumnos. Esas limitaciones, entre otras, fue lo que dio paso a los sistemas tutores adaptativos. Un sistema tutor adaptativo (STA) es un entorno virtual de aprendizaje interactivo en el cual el

estudiante no permanece pasivo. Esta es tal vez la característica más relevante, pues es el alumno quien apoyado por su tutor, pero manteniendo su autonomía, construye su propio conocimiento (Velasco Fernández, 2010). Los STA se apoyan en la psicología cognoscitiva, en la que el aprendizaje se va dando mediante una serie de acciones, conocimientos y situaciones.

El término "sistema tutor inteligente" (STI) es un término amplio y variado, que abarca cualquier programa de computadora que contenga algo de inteligencia y pueda usarse en el aprendizaje (Freedman et al., 2000). De acuerdo con el Tesauro de ERIC, un STI es un sistema de instrucción asistido por computadora que emplea los principios de inteligencia artificial para mantener diálogos con los estudiantes y utilizar las respuestas de los estudiantes para evaluar el aprendizaje. Para González et al., (2010) los STI son sistemas de instrucción adaptativos, con ciertas características "inteligentes" en relación a la capacidad de adaptación, a los métodos de aprendizaje, y al conocimiento de los diferentes estudiantes. Representan un conjunto de elementos instruccionales lo suficientemente generales como para dar instrucción efectiva mediante un conjunto de tareas de enseñanza. Un STI se adapta al ritmo de aprendizaje de cada alumno, proveyendo una ayuda flexible, que es capaz de ofrecer a los estudiantes elementos de auto reflexión sobre su propio rendimiento. Los STI "guían" al alumno a lo largo de un dominio específico de conocimiento, resolviendo tareas durante el proceso, ejercicios a la medida de las necesidades del alumno, la resolución pedagógica de estos ejercicios, y la explicación de la solución.

Un STI tradicional contiene cuatro componentes:

- a) Módulo de conocimiento o de dominio
- b) Módulo del estudiante

- c) Módulo pedagógico
- d) Entorno de aprendizaje o interfaz de usuario.

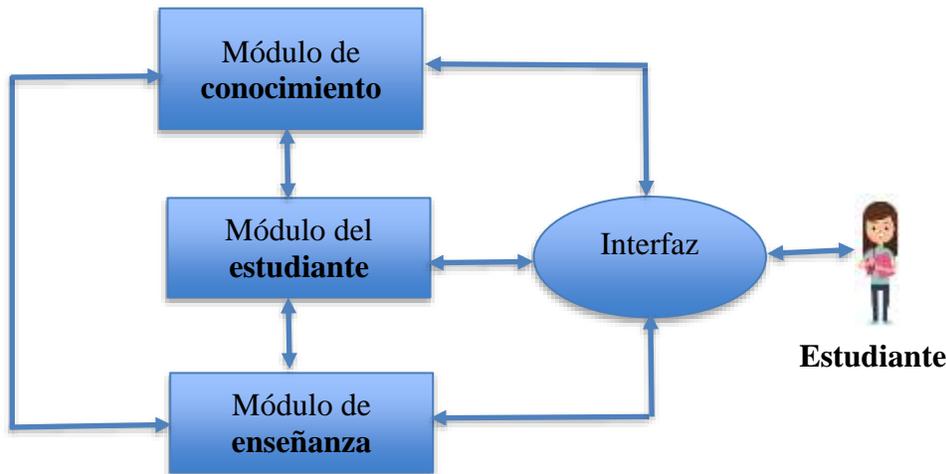


Figura 3: Estructura clásica de un Sistema Tutor Inteligente. Fuente: Ceyca, (2004)

El módulo de conocimiento tiene el objetivo de almacenar todos los conocimientos del campo de aplicación del STI. El módulo del estudiante tiene por objetivo realizar el diagnóstico cognitivo del alumno, y el modelado de este para una apropiada retroalimentación del sistema. El módulo de enseñanza (o módulo tutor) es quien define y aplica una estrategia pedagógica de enseñanza, contiene los objetivos a alcanzar y los planes para alcanzarlos. Selecciona los problemas, monitorea el desempeño, provee asistencia y selecciona el material de aprendizaje para el alumno. Integra el conocimiento acerca del método de enseñanza, las técnicas didácticas y del dominio a ser enseñado (Cataldi y Lage, 2009).

Para concluir este apartado resulta importante diferenciar entre la tecnología adaptativa (también conocida como software didáctico), el aprendizaje personalizado y el aprendizaje adaptativo. La primera consiste en plataformas digitales y aplicaciones que uno puede comprar o construir. El aprendizaje personalizado es una práctica general de enseñanza y aprendizaje que busca ajustar más afinadamente la experiencia del curso a las necesidades

individuales de los estudiantes. Por último, el aprendizaje adaptativo es una forma de aprendizaje personalizado en la que la tecnología adaptativa desempeña un papel importante (Brown et al., 2020).

3.5.1 EL SISTEMA TUTOR ADAPTATIVO WEBASSIGN

Existen en el mercado diversas opciones para aprender matemáticas mediante un sistema tutor adaptativo en línea. Sin embargo, un gran porcentaje de esos sistemas están diseñados para los niveles educativos básicos. Para el nivel de bachillerato y universidad, tres de los STAL más empleados para matemáticas son: ALEKS de la editorial McGraw Hill, MyMathLab de la editorial Pearson y WebAssign de la editorial CENGAGE.

Para la elaboración de este trabajo de tesis se eligió el STAL WebAssign debido a que fue el sistema que mejor se adaptó a las características del curso y se observaron algunas ventajas sobre los otros como es el poder tener más libros de texto como apoyo al docente, la elaboración de problemas propios, exámenes seguros (lock down browser), retroalimentación inmediata, sistemas de ayuda para el alumno (videos, libro electrónico), análisis para evaluar el rendimiento de cada alumno y poder detectar a tiempo estudiantes en riesgo, control de calificaciones, amplio soporte por parte de la editorial, apoyos para la elaboración de exámenes (test Banks), bancos de ejercicios robustos, posibilidad de trabajar en PC o en dispositivos móviles. La única desventaja que se observó fue que es el sistema menos vistoso de los tres que se revisaron, pues ALEKS y MyMathLab tienen una interfase más atractiva a la vista para los usuarios. La editorial CENGAGE define a WebAssign como un “sistema instruccional en línea flexible y personalizable para profesores y estudiantes de instituciones educativas de nivel medio superior y superior que provee herramientas en línea

que permiten a los profesores asignar tareas, evaluar el desempeño de los estudiantes y enriquecer la experiencia de enseñanza-aprendizaje” (CENGAGE, s/f).

WebAssign fue desarrollado por el Dr. John Risley en 1997 para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y apoyar a los instructores en sus aulas. WebAssign es un sistema de instrucción flexible basado en la WEB. Proporciona a los alumnos una retroalimentación inmediata sobre su rendimiento, lo que les permite practicar más en las áreas con las que necesitan más ayuda. Los alumnos pueden trabajar en sus tareas tantas veces como lo necesiten o hasta que obtengan las respuestas correctas y el rendimiento de los estudiantes puede evaluarse regularmente. WebAssign tiene una base robusta de ejercicios, problemas, simulaciones, videos y tutoriales para que los instructores puedan elegir al crear una actividad. Los ejercicios y problemas tienen datos aleatorios de manera que no correspondan los de un alumno con otro o los de un intento con otro. También se pueden crear preguntas propias o modificar las preguntas existentes. Los valores numéricos se asignan al azar para que cada alumno reciba una versión ligeramente diferente de la pregunta. El profesor también puede decidir:

- El número de intentos de envío para cada estudiante.
- El valor en puntos de cada pregunta y parte de la pregunta.
- El tipo de comentarios que reciben los estudiantes.
- Cuándo deben mostrarse sugerencias.
- En qué condiciones se aplican puntos de bonificación o penalización.
- Si los valores deben aleatorizarse por alumno o ser los mismos para todos los alumnos.
- Si las preguntas deben mostrarse en una secuencia específica o aleatorizarse.

- La fecha de vencimiento de las actividades.

WebAssign califica cada actividad creada dando retroalimentación inmediata al alumno para cada ejercicio. Los instructores pueden acceder al libro de calificaciones en cualquier momento. Muestra el rendimiento de los estudiantes en preguntas y temas a lo largo del curso.

WebAssign cuenta con un seguro llamado LockDown Browser, el cual evita que los estudiantes tengan acceso a cualquier otra parte en la computadora que no sea trabajar en una actividad si los instructores optan por realizar exámenes en clase o a distancia.

Algunas características que los estudiantes pueden usar para dominar los conceptos y las habilidades de resolución de problemas demostrados por su profesor el aula son:

- 1) Retroalimentación inmediata. Tan pronto como los estudiantes hagan clic en enviar a una pregunta, WebAssign la califica instantáneamente. Esto permite a los estudiantes estar al tanto de las preguntas que tienen incorrectas y les brinda la oportunidad de rehacer la pregunta o una pregunta similar.
- 2) Múltiples intentos. Por decisión del profesor, los estudiantes pueden tener múltiples intentos de responder una pregunta sin ser penalizados.
- 3) Opciones de ayuda. WebAssign tiene algunos recursos si los estudiantes necesitan ayuda con una actividad o necesitan práctica adicional, como videos paso a paso, practicar otra versión y tutoriales para dominar el tema en cuestión.
- 4) Mis conocimientos del tema. Esta característica permite a los estudiantes ver las preguntas y conceptos que hicieron bien y aquellos en los que pueden necesitar dedicar más tiempo.
- 5) Pregúntale a tu maestro. Cuando los estudiantes necesitan ayuda u orientación sobre una

tarea o una pregunta específica, pueden contactar a sus instructores mediante esta función.

6) Opción de autoestudio. Hay preguntas, cuestionarios y pruebas que los estudiantes pueden practicar y que no se incluirán en la calificación del alumno. También hay guías de estudio que los estudiantes pueden utilizar.

El sistema de instrucción en línea, WebAssign puede simplificar la creación y calificación de las tareas, así como proporcionar una plataforma práctica para la evaluación, pero su efecto en el aprendizaje de los estudiantes ha mostrado resultados mixtos. WebAssign fomenta el aprendizaje mediante refuerzo y recompensa.

3.6 EL DOMINIO AFECTIVO

Las cuestiones afectivas juegan un papel esencial en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Desde los años setenta del siglo pasado numerosas investigaciones comenzaron a centrarse en la dimensión afectiva en la enseñanza de las matemáticas. Sin embargo, a pesar de que ha habido intentos por conciliar el concepto de dominio afectivo, sigue siendo un problema hallar una definición clara de qué es el afecto o el dominio afectivo (Gómez-Chacón, 2000). La definición más utilizada es la que proponen Krathwohl, Bloom y Masia (1973, citados en Gómez-Chacón, 2000), en la que se incluye como parte de la definición de dominio afectivo actitudes, creencias, apreciaciones, gustos y preferencias, emociones, sentimientos y valores. Por su parte McLeod (1992) emplea la expresión dominio afectivo para describir un “extenso rango de sentimientos y humores (estados de ánimo) que son generalmente considerados como algo diferente de la pura cognición” (p. 576). McLeod (1992), categorizó las creencias que influyen en el aprendizaje de las matemáticas en dos grupos: creencias acerca de las matemáticas y creencias acerca de sí mismo (del alumno y

del profesor). La primera categoría tiene poca componente afectiva, pero resalta el contexto en el que se desarrolla el afecto. La segunda, tiene importante carga afectiva e incluye conceptos como confianza, autoconcepto y atribución de las causas del éxito o del fracaso. Estas últimas son creencias muy relacionadas con la metacognición y autoconciencia (McLeod, 1989b citado en Gómez-Chacón, 2000). Esta definición, que incluye como descriptores básicos sentimientos y emociones, debe incluir también las creencias, las actitudes, los valores y las apreciaciones.

En lo que respecta a la elaboración de este trabajo de tesis, adoptaremos la enunciación de dominio afectivo dividido en **emociones, actitudes y creencias**, ya que este acuerdo es cada vez más común el campo de la educación matemática (figura 4).

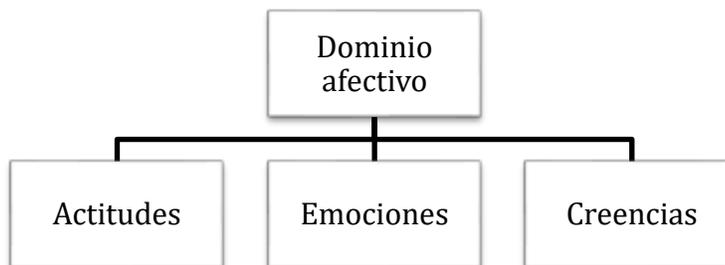


Figura 4. Esquema del dominio afectivo.

3.6.1 LAS ACTITUDES Y EL MODELO TRIPARTITA

En virtud de la carencia de una definición universal del constructo “actitud” y el constructo “actitud hacia las matemáticas”, se presentan a continuación algunas definiciones de autores que han escrito al respecto.

El constructo “actitud” fue introducido en el contexto de la psicología social a principios del siglo XIX. Una de las primeras definiciones, que sigue estando vigente hasta nuestros días

en diversos documentos de la literatura, se le atribuye a Allport, (1935): “Una actitud es un estado mental y neural de disposición, organizado a través de la experiencia, ejerciendo una influencia directa y dinámica sobre la respuesta del individuo ante todos los objetos y situaciones con los que está relacionado”(p. 810). El constructo “actitud en educación matemática” apareció a mediados del siglo XX y fue afectado profundamente por el campo en el que nació (la psicología social), por su caracterización, vista como un rasgo de la persona capaz de influir en su propio comportamiento y por los métodos utilizados para evaluar y medir las actitudes (Aiken, 1970, citado por Di Martino y Zan, 2014).

Aiken, (1970) define la actitud como “una predisposición o tendencia aprendida por parte de un individuo para responder positiva o negativamente a algún objeto, situación, concepto u otra persona” (p.551). Por su parte, para McLeod y Adams, (1989), la actitud puede verse como “una predisposición a responder de una forma favorable o desfavorable con respecto a un objeto dado (por ejemplo: una persona, actividad, idea, etc.)”(p. 39). Las variables afectivas están conformadas por un conjunto de sentimientos y estados anímicos entre los que se incluyen las actitudes, las creencias y las emociones. Esta división es ampliamente aceptada en el campo de la educación matemática, sin embargo, no existen acuerdos generales en el momento de definir estos constructos (Hart, 1989, Di Martino y Zan, 2011). Por su parte, Ursini, Sánchez, y Orendain, (2004) complementan la definición de actitud como:

... una predisposición aprendida para responder de manera consistente, favorable o desfavorablemente, hacia un objeto y sus símbolos. Una actitud tiene dirección: positiva o negativa; intensidad: alta o baja; está conformada por varios elementos, tales como: cogniciones o creencias, sentimientos o afectos asociados a evaluaciones,

tendencias de comportamiento; y se forma, principalmente, mediante las experiencias e inferencias o generalizaciones y con base en principios de aprendizaje. (p. 61)

La actitud hacia las matemáticas (AHM) es la predisposición organizada del estudiante a pensar, sentir, percibir y comportarse hacia las matemáticas (Jovanovic y King 1998, citado por Fonseca, 2012); AHM es una medida agregada de "un gusto o disgusto por las matemáticas, una tendencia a participar o evitar actividades matemáticas, una creencia de que uno es bueno o malo en matemáticas, y la creencia de que las matemáticas son útiles o inútiles" (Neale 1969, p. 632, citado por Fonseca, 2012). Una escala de actitud hacia las matemáticas mide los sentimientos, intereses y predisposiciones de un individuo hacia las matemáticas (Askar 1986, citado por Fonseca, 2012).

Para efectos de este trabajo, se considerará la definición de actitud hacia las matemáticas de Gómez-Chacón (2000): La actitud es “una predisposición evaluativa (es decir, positiva o negativa) que determina las intenciones personales e influye en el comportamiento”(p. 169).

Para la realización de este trabajo de tesis, también coincidimos con diversos investigadores en educación matemática como Hart, (1989), Auzmendi, (1992), Ruffell, Mason, y Allen, (1998), Gómez-Chacón (2000), Di Martino y Gregorio, (2017), Hannula, (2002), entre otros, quienes consideran en sus investigaciones los tres componentes de las actitudes: el cognitivo, el afectivo y el conductual. A este modelo se le conoce como modelo tricomponente o modelo tripartita.

Los tres componentes de la actitud de un estudiante hacia las matemáticas las describimos de la siguiente manera:

- 1) El ***componente cognitivo*** se manifiesta en las creencias que están por debajo de dicha actitud. Está formado por las creencias del alumno hacia las matemáticas. Este

componente de la actitud hacia un objeto comprende las percepciones, creencias, estereotipos, informaciones e ideas que tiene el individuo acerca del objeto. En este componente, tienen un papel importante las creencias acerca de las matemáticas, acerca del propio alumno, acerca de la enseñanza de la materia y acerca del contexto social. Las creencias de los estudiantes representan el componente cognitivo de las actitudes hacia las matemáticas (Juárez, 2010).

- 2) El **componente afectivo** surge de los sentimientos y emociones de aceptación, gusto, desagrado o rechazo hacia cierto trabajo o materia. Es en donde intervienen las emociones que asocia el estudiante con las matemáticas (que tienen un valor positivo o negativo).
- 3) Por último, el **componente conductual** (también llamado intencional), se refiere a las intenciones, tendencias, disposiciones y acciones hacia las matemáticas; refiere la tendencia hacia un tipo de comportamiento (Juárez, 2010). Nos dice cómo se comporta el estudiante ante las matemáticas.

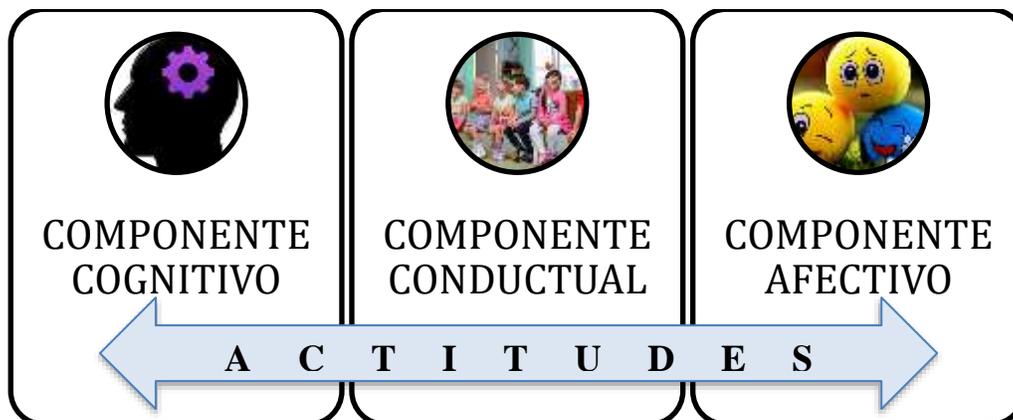


Figura 5. Modelo tricomponente de las actitudes.

3.7 MARCO EPISTEMOLÓGICO

Reflexión sobre la compatibilidad entre el paradigma, las teorías, los métodos y los resultados.

La epistemología es la rama de la filosofía que se ocupa de la teoría del conocimiento. Dos de las preguntas principales de la epistemología son ¿Qué es el conocimiento? y ¿cómo se adquiere el conocimiento? ¿cómo se relacionan la ciencia y la sociedad?

Dado que el presente trabajo es de enfoque cuantitativo, lo fundamentamos dentro del paradigma epistémico del positivismo lógico (también llamado empirismo lógico, neopositivismo o empirismo racional) pues se pretende corroborar las hipótesis que se mencionaron anteriormente. La teoría positivista dentro de la epistemología, plantea la corroboración mediante una evaluación con la que haremos conjeturas provisionales sobre las hipótesis (Popper, 1989). Destaca dentro de esta corriente epistemológica, la hipótesis, la teoría, la observación y experimentación.

El positivismo lógico tiene su origen en el positivismo (doctrina basada en la experiencia y en el conocimiento empírico de los fenómenos naturales), propuesto inicialmente en el siglo XIX por Auguste Comte y propulsado más tarde por otros filósofos como K.R. Popper con su racionalismo crítico. El racionalismo crítico de Popper (al igual que Comte) defiende el método científico, que consiste en el ensayo de posibles soluciones a problemas, es decir, en la propuesta de conjeturas o teorías y en la crítica constante a esas conjeturas (Mardones, 2007). Popper sostiene que el progreso histórico de la ciencia se obtiene añadiendo posteriores hallazgos y teorías a la de la época anterior en una concepción falsacionista que pone en tela de juicio toda teoría. Sin embargo, el físico e historiador norteamericano T.S. Kuhn (citado en Mardones, 2007) propone que la ciencia avanza más bien en zig-zag; que

tiene una evolución semejante a la de la biología, presenta momentos de discontinuidad en las que ante un nuevo descubrimiento o una nueva teoría, parece desplomarse el conocimiento hasta entonces vigente, y se reconstruye desde el inicio. Dicho de otro modo, para Kuhn la validez de la ciencia tiene temporalidad, es decir es válida en su época y no en las demás.

En lo que respecta al presente trabajo, queremos generar un conocimiento nomotético sobre lo que acontece en las aulas y fuera de ellas con el uso de una computadora en la enseñanza aprendizaje del Cálculo. Concordamos con los autores anteriores en que el paradigma del positivismo lógico basado en un enfoque evolutivo o de desarrollo es adecuado y útil para la investigación y es coherente con las teorías adoptadas y los resultados obtenidos.

3.8 EL DISEÑO INSTRUCCIONAL

De acuerdo con Agudelo (2009), el diseño instruccional es el proceso metódico, planeado y organizado que se lleva a cabo para originar cursos para la educación presencial o en línea. Toma en cuenta unidades didácticas, objetos de aprendizaje y los recursos educativos que van más allá de los puros contenidos. La utilización de un modelo de diseño instruccional facilita la gestión y ejecución del proceso de aprendizaje en la búsqueda del logro deseado en el conocimiento y habilidades de los alumnos en un determinado curso y contexto. El modelo que se seleccione debe estar alineado con las necesidades de la institución y de los estudiantes. En el caso de los cursos en los que impera el uso de tecnología, como en los cursos híbridos o en línea, los modelos se suelen conocer como modelos tecno pedagógicos.

3.8.1 EL MODELO TECNO PEDAGÓGICO ADDIE

Este modelo debe su nombre a las iniciales de Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación. Se trata de un proceso de diseño instruccional interactivo en el cual es fundamental la evaluación formativa. De acuerdo con Belloch (2013), el paso inicial del modelo es analizar a los alumnos, los contenidos y el contexto. El resultado del análisis será una descripción de la situación y de las necesidades formativas. Durante el diseño se elabora un programa, haciendo énfasis en el enfoque pedagógico, en la secuencia y la organización de contenidos. El desarrollo consiste en la creación del producto. En esta fase se elaboran los contenidos, las actividades y la evaluación. La implementación tiene que ver con la entrega del contenido al estudiante. Aquí se lleva a cabo lo planificado. En esta fase se pone a prueba la instrucción, se revisa su eficacia y eficiencia, y es el momento idóneo para hacer los cambios o ajustes necesarios para lograr la comprensión del material por parte del alumno y el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje (Agudelo, 2009). La evaluación aparece al final del modelo, sin embargo, está presente durante todo el proceso de diseño instruccional y puede ser formativa o sumativa.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

La investigación es de tipo cuasiexperimental, de enfoque cuantitativo y alcance correlacional. Se realizó un cuasiexperimento con diseño de grupo de control equivalente. Para el análisis estadístico de la comprensión de la derivada, de las actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora se realizaron análisis estadísticos e inferenciales en los que se utilizó la prueba t para validar o rechazar las hipótesis planteadas. Como en la mayoría de los estudios de ciencias sociales, se empleó un valor de significancia de 0.05. Finalmente se realizó un análisis correlacional entre las variables comprensión de la derivada vs. actitud hacia el cálculo, pues resulta de interés investigar si una actitud positiva hacia el cálculo repercute en un mejor resultado académico.

4.1 ¿POR QUÉ UN ENFOQUE CUANTITATIVO?

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, (2018), el enfoque cuantitativo es un conjunto de procesos secuencial y probatorio que, a partir de una idea, va acotándose hasta derivar en objetivos, preguntas de investigación e hipótesis. Pues bien, de acuerdo con la naturaleza del estudio, a los objetivos, preguntas de investigación e hipótesis, el enfoque cuantitativo parece ser la mejor opción debido a tres características que coinciden con los postulados del pospositivismo de Auguste Comte considerado el “padre” del enfoque cuantitativo. Estas características son:

- 1) La recolección de datos es en forma de puntuaciones. Es decir, los atributos de los objetos de investigación se miden con números. Por la naturaleza de la investigación, se obtendrán datos numéricos tanto para la variable “Comprensión del concepto de derivada”, como para las variables Actitud hacia el cálculo y actitud hacia el cálculo

aprendido con computadora.

- 2) El análisis de los datos numéricos se realiza en términos de su variación. Se pretende medir el efecto de un diseño instruccional mediado por un sistema tutor adaptativo en la comprensión de un concepto matemático. Esto se realizará mediante la comparación entre un grupo de control y uno experimental.
- 3) El propósito del análisis es comparar grupos y relacionar los atributos mediante técnicas estadísticas. La variación entre los resultados de ambos grupos permitirá el análisis e interpretación de estos.

Dentro de los objetivos, preguntas de investigación e hipótesis se observa la necesidad de medir o estimar la magnitud del efecto de una herramienta tecnológica en el aprendizaje del cálculo en los alumnos. El problema es delimitado, específico y concreto. La recolección de datos es de tipo numérico y se llevó a cabo mediante procedimientos estandarizados para buscar la generalización de los resultados encontrados en la población estudiada. Estas características también son mencionadas en el libro de Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, (2018) como argumentación de un enfoque cuantitativo.

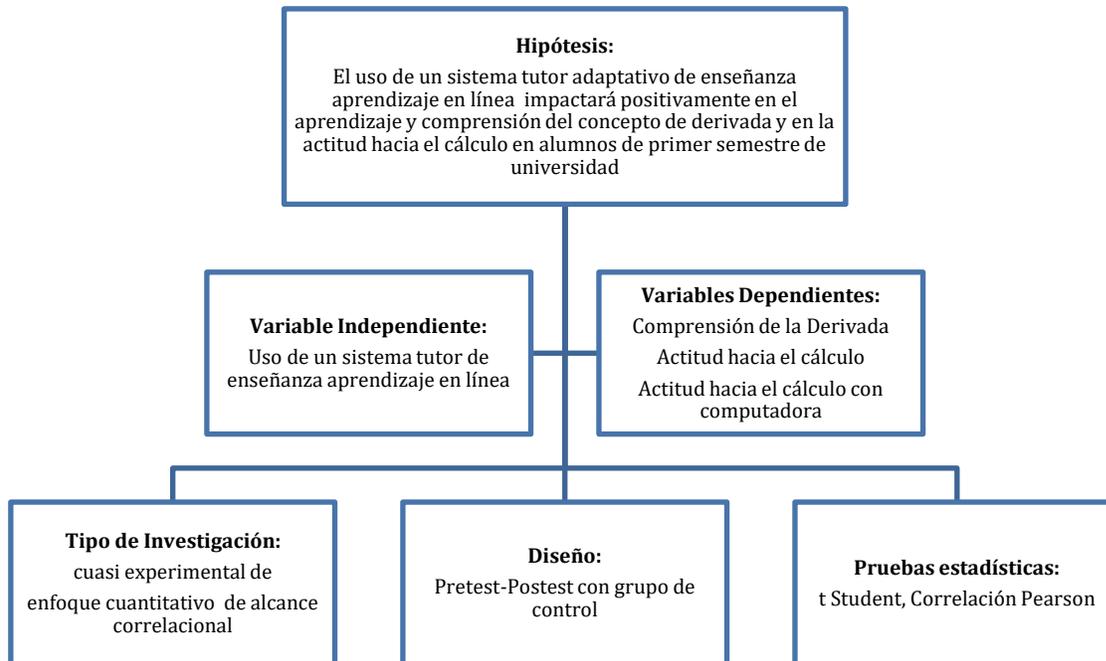


Figura 6. Resumen de la metodología.

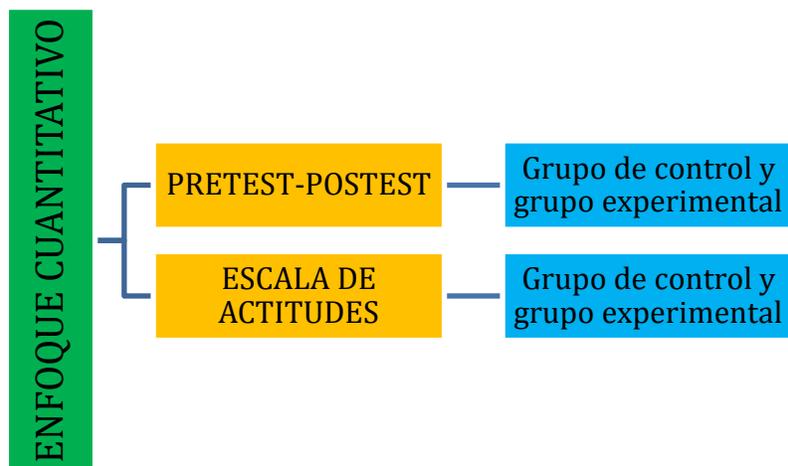


Figura 7. Resumen del marco metodológico.

4.2 TRABAJO DE CAMPO

Universo

El universo del experimento son todos los estudiantes universitarios de primer semestre tanto de universidades públicas como privadas en México.

4.2.1 POBLACIÓN Y CONTEXTO

La presente investigación se llevó a cabo en una universidad privada de la Ciudad de Puebla, por lo que se define a la población como los alumnos de primer semestre en dicha universidad que cursen alguna carrera del área de ingeniería y que estén inscritos en la materia de matemáticas 1. La universidad en cuestión es una institución educativa mexicana privada con 76 años de existencia que cuenta con 26 campus en varios estados del país con una población total de cerca de 150 mil estudiantes. Estos estudiantes son hombres y mujeres con promedio de edad de 18 años de un nivel socioeconómico de medio a alto que cuentan con recursos para acceder a herramientas tecnológicas como Laptop, teléfonos inteligentes e internet como parte de su cotidianidad. Ellos conformaron nuestra unidad de muestreo y al momento de la obtención del tamaño de la muestra era de 327 alumnos.

4.2.2 DISEÑO METODOLÓGICO.

Se trata de un diseño pretest-postest con grupo de control. Con este diseño, todas las condiciones son las mismas tanto para el grupo experimental como para el grupo de control, con la excepción de que el grupo experimental es expuesto a un tratamiento, mientras que el grupo de control no lo es. Este diseño se considera actualmente ortodoxo (Campbell y Stanley, 1963), porque cumple con las normas o prácticas tradicionales generalizadas y

aceptadas por la comunidad científica como el más adecuado, debido a que se emplean grupos equivalentes logrados por aleatorización.

Siguiendo el código de Campbell y Stanley, (2011) en donde X representa la exposición del grupo a un tratamiento experimental cuyos efectos se han de medir, O es el proceso particular de observación o medición y R indica la aleatorización de los grupos de tratamiento para lograr la igualdad estadística de los grupos, este diseño adopta la siguiente forma:

$$\begin{array}{ccc} RO_1 & X & O_2 \\ RO_3 & & O_4 \end{array}$$

4.2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Dado que en este caso es posible conocer el tamaño de la población, la fórmula para determinar el tamaño de la muestra (n) es la siguiente:

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N-1)E^2 + Z^2\sigma^2}$$

En donde, N es el tamaño de la población, Z es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. Dado que en este trabajo se utilizó un $\alpha=0.05$, corresponde un valor de z de 1.96. E es el margen de error máximo que admitimos. En este caso se eligió $e=0.10$. Finalmente, dado que no se conoce la desviación estándar, se admite un valor de $\sigma=0.5$. Sustituyendo estos valores en la fórmula y $N=327$, se tiene:

$$n = \frac{327(1.96)^2(0.5)^2}{(327-1)(0.1)^2 + (1.96)^2(0.5)^2} = 74.4$$

dando un tamaño de muestra de 75 estudiantes.

Para la selección de la muestra se empleó un muestreo probabilístico simple. Una vez conocido el tamaño de la muestra, se utilizaron los listados de alumnos inscritos en la materia

de matemáticas 1 en el semestre agosto-diciembre de 2019 (marco muestral) y se generaron números aleatorios para elegir los 75 alumnos, los cuales se dividieron aleatoriamente en grupo de control y grupo experimental. Dado que se siguió un método probabilístico para la determinación del tamaño de la muestra y para la correspondiente selección, consideramos que los resultados podrán ser extrapolados a la población en cuestión en el momento en el que se realizó el estudio.

4.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el diseño de los instrumentos se tomaron en cuenta los objetivos de la investigación, la teoría que la fundamenta, el constructo teórico y la unidimensionalidad teórica del constructo (Soriano, 2014).

Los instrumentos de recolección que se emplearon en este estudio fueron los siguientes:

4.3.1 ESCALAS DE MEDICIÓN DE ACTITUDES

Algunas escalas que se utilizan en la medición de actitudes son la escala de Thurstone, el Diferencial semántico, la escala de Guttman y la escala de Likert. Dentro de estas escalas, una de las más utilizadas en Ciencias Sociales, tal vez por su sencillez en la elaboración, lectura e interpretación es la escala Likert. Las llamadas escalas tipo Likert (o simplemente escalas Likert) en honor del Dr. Rensis Likert (1903-1981), quien publicó un informe en 1932 sobre cómo usar el instrumento para la medición precisamente de actitudes consisten en un cuestionario que contiene preguntas, afirmaciones o ítems los cuales tienen distintas alternativas de respuestas fijas para cada uno. Generalmente las cinco alternativas de respuestas que se establecen son: Totalmente de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo y Totalmente en desacuerdo. Se puede analizar la respuesta de cada pregunta específica

(también llamada ítem o elemento) por separado o resumirla con otros elementos relacionados para crear una puntuación para un grupo de afirmaciones. Esta es también la razón por la que las escalas Likert a veces se denominan escalas sumativas. Dependiendo de cómo se traten las preguntas de la escala Likert, se pueden aplicar diversos métodos de análisis (Bertram, 2007):

1. Métodos de análisis utilizados para preguntas individuales (datos ordinales):
 - Gráficos de barras y gráficos de puntos, no histogramas (los datos no son continuos).
 - Tendencia central resumida por mediana y moda, no media.
 - Variabilidad resumida por rango y rango intercuartil, no desviación estándar.
 - Analizados mediante pruebas no paramétricas (diferencias entre las medianas de grupos comparables).
 - Prueba U de Mann - Whitney
 - Prueba de rango con signo de Wilcoxon
 - Prueba de Kruskal - Wallis
2. Cuando se suman varias respuestas de preguntas tipo Likert (datos de intervalo):
 - Todas las preguntas deben usar la misma escala Likert.
 - Debe ser una aproximación defendible a una escala de intervalo (es decir, la codificación indica la magnitud de la diferencia entre los elementos, pero no hay un cero absoluto).
 - Todos los ítems miden una sola variable latente (es decir, una variable que no se observa directamente, sino que se infiere de otras variables que se observan y miden directamente) se analizan mediante pruebas paramétricas.
 - Análisis de varianza (ANOVA)

3. Métodos de análisis utilizados cuando se reducen a niveles nominales de acuerdo o en desacuerdo:

- Prueba Chi-cuadrada
- Prueba Q de Cochran
- Pruebas de McNemar

Para la medición de las variables: actitud hacia el cálculo y actitud hacia el cálculo aprendido con computadora utilizamos una versión modificada de la escala "actitudes hacia las matemáticas y hacia las matemáticas enseñadas por computadora" (AMMEC por sus iniciales) de Ursini, Sánchez, y Orendain, (2004), que es una encuesta tipo Likert de 21 ítems con 5 niveles de respuesta: no, poco, indeciso, sí y mucho. A cada nivel de respuesta se le asignó un valor de 1 a 5, donde 1 indica un fuerte desacuerdo, 3 una visión neutral y 5 un fuerte acuerdo. Se revisaron varias escalas de actitudes tales como la de Daza y Garza, (2018); López, Castro, Molina y Moreno, (2010); Galbraith y Haines (1998); Pierce, Stacey y Barkatsas (2007); Auzmendi, (1992); Fogarty, Cretchley, Harman, y Ellerton, (2001) y Forgasz, (1995). Como se ha mencionado, hasta la fecha, en México ha habido un número muy reducido de estudios relacionados con las actitudes hacia las matemáticas o hacia las matemáticas apoyadas con tecnología. Se decidió utilizar la Escala de Actitudes AMMEC debido a que esta escala mide originalmente las actitudes hacia las matemáticas y también las actitudes hacia las matemáticas aprendidas con computadora en el mismo instrumento, fue elaborada siguiendo el modelo tripartita de las actitudes con los componentes cognitivo, afectivo y conductual y finalmente porque se conocía el proceso de validación y confiabilidad del instrumento.

4.3.2 MODIFICACIONES REALIZADAS A LA ESCALA AMMEC.

La escala AMMEC surgió como apoyo al proyecto EMAT (enseñanza de las matemáticas con tecnología), que promovió la Secretaría de Educación Pública desde 1997 en 17 estados de la República Mexicana. Debido a lo anterior, la escala original incluía tres reactivos que medían algunas habilidades y comportamientos al trabajar en la clase EMAT. Dichos reactivos fueron eliminados de la escala debido a que no coincidían con el contexto en el que se aplicaría. Los reactivos retirados fueron:

- Me gustaría ir más seguido al laboratorio EMAT
- Es fácil usar la computadora en EMAT
- La clase en el laboratorio EMAT es aburrida

La otra modificación que se hizo a la escala AMMEC original fue cambiar la palabra “matemáticas” por “cálculo”.

Dado que esta escala fue modificada al eliminar tres ítems de la original, se realizó una prueba piloto y se calculó el coeficiente alfa de Cronbach para revisar la confiabilidad del instrumento obteniendo un valor alpha de 0.846. La escala AMMEC está dividida en dos subescalas: la primera está diseñada para medir el gusto por el cálculo, la segunda mide el gusto por el cálculo enseñado con computadora. Cada subescala está dividida a su vez en componentes afectivo, cognitivo y conductual. Cabe aclarar que el instrumento se sometió a proceso de validación y fiabilidad por sus autores Ursini et al., (2004), sin embargo, dado que se le hicieron ciertas modificaciones, el instrumento volvió a pasar por el proceso de confiabilidad y validez.

4.3.3 APLICACIÓN DE LA ESCALA DE ACTITUDES.

Se aplicó la escala de actitudes AMMEC modificada a los grupos de control y experimental al inicio del semestre agosto-diciembre 2019. La escala se aplicó mediante un cuestionario realizado en Google forms el cual puede consultarse en el apéndice A.

4.3.4 PRUEBA ESTANDARIZADA

Se diseñó una prueba estandarizada para la medición del aprendizaje de la derivada como razón de cambio (apéndice B), la cual se sometió a una prueba de validez por jueceo de expertos (apéndice C). Para la elaboración de la prueba se emplearon algunos ítems del trabajo de Orton, (1993), otros del sitio español Descartes, (2012), algunos de Stewart, (2012) y otros de diseño propio. La prueba consta de 14 ítems con el mismo valor en cada respuesta. Estos ítems se utilizaron tanto para la determinación del rendimiento académico en el grupo experimental como en el de control. La prueba pretest se aplicó a los grupos experimental y de control al inicio del semestre agosto-diciembre 2019 y la prueba posttest se aplicó al finalizar el mismo. La aplicación de la prueba tuvo una duración de dos horas y se aplicó el mismo día a todos los estudiantes que participaron en el estudio.

4.3.5 VALIDACIÓN DE LA PRUEBA PARA MEDIR LA COMPRENSIÓN DE LA DERIVADA

4.3.5.1 Validez de criterio

Para lograr la *validez de criterio* del instrumento en lo que respecta a la construcción del concepto de derivada, los diferentes ítems fueron sometidos a la revisión de expertos. Estos expertos fueron siete profesores con más de 10 años de experiencia en la impartición del

cálculo en la universidad y con algunas de las características recomendadas por Skjong, Wentworth, Norske, & Hovik, (2001) tales como:

- a) Experiencia en la realización de juicios y toma de decisiones basada en evidencia o experticia (grados, investigaciones, publicaciones, posición, experiencia y premios, entre otras)
- b) reputación en la comunidad,
- c) disponibilidad y motivación para participar, y
- d) imparcialidad y cualidades inherentes como confianza en sí mismo y adaptabilidad.

Además de las características mencionadas, se buscó cumplir con los siguientes criterios de selección de los jueces expertos para la validez de contenido:

Formación académica: Maestría o Doctorado en Educación Matemática, Matemática Educativa o similar. Doctorado en Ingeniería. Doctorado en Física.

Experiencia: Haber participado en el diseño y aplicación de instrumentos de evaluación. Conocimientos sobre validación de instrumentos de medición (validez de contenido). Haber diseñado o implementado estrategias didácticas con tecnología en el aula con fines investigativos.

Publicaciones: Tener publicado un artículo en el ámbito educativo. Publicación sobre el uso de tecnología en educación (opcional). Se elaboró un Instrumento de validación por experto siguiendo el método de agregados individuales basado en el instrumento de Corral, (2009).

De acuerdo con las sugerencias de los expertos se modificaron o eliminaron aquellos ítems que se consideraron repetitivos o que no aportaban a la medición del constructo.

4.3.5.2 Validez de contenido

La *validez de contenido* se llevó a cabo mediante una prueba piloto. La primera versión del instrumento constó de 20 ítems que se aplicaron en una prueba piloto con un grupo de la misma universidad que no participaría en la investigación, pero con las mismas características. Las respuestas dadas por los alumnos fueron revisadas por el investigador, por el asesor y por tres profesores más de la universidad. Se puso especial interés en las respuestas incorrectas para determinar si el grado de dificultad era el adecuado, si no había dificultad en la redacción de los ítems y se entendieran adecuadamente y si el tiempo de solución fue suficiente. Basados en las opiniones de los expertos se hicieron las siguientes adecuaciones al instrumento: se eliminaron aquellos ítems que demostraron un grado de dificultad muy alto. Se corrigió la redacción de algunos de los ítems para asegurar su comprensión y se modificó el orden para mejorar la secuencia y el nivel de dificultad de manera ascendente.

4.3.5.3 Validez de constructo

Finalmente, la *validez de constructo* se llevó a cabo mediante la operacionalización de las variables, en donde se establecieron los indicadores que permitirían realizar su medición de manera cuantitativa. El cuadro de operacionalización de las variables se puede consultar en el Apéndice D.

4.3.6 CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS.

Como se mencionó, tanto la prueba de validez como la de confiabilidad de la escala de actitudes AMMEC se había ya realizado por sus autores. Sin embargo, dado que se le retiraron tres ítems a la escala original, se realizaron las pruebas de confiabilidad con el

programa IBM SPSS Statistics versión 25 utilizando los resultados de la prueba piloto. El coeficiente de confiabilidad obtenido Alpha de Cronbach fue de 0.846 el cual se considera muy bueno.

Para la prueba estandarizada para medir la comprensión de la derivada se llevó a cabo también la prueba de confiabilidad en el programa SPSS con los datos de la prueba piloto.

El alfa de Cronbach que se obtuvo para este instrumento fue de 0.797, el cual se considera aceptable. Este instrumento puede verse en el Apéndice C.



Figura 8. Proceso de validación de contenido Pretest-Postest.

4.3.7 ANÁLISIS FACTORIAL DE LA PRUEBA AMMEC MODIFICADA

El Análisis Factorial Exploratorio (AFE) es una técnica estadística que permite examinar con mayor precisión las dimensiones inferiores, constructos o variables escondidas de las variables observadas, es decir, las que observa y mide el investigador (Movrou et al., 2016).

En la primera corrida del análisis factorial para la escala AMMEC modificada se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

Descriptivos: Solución inicial. Matriz de correlaciones KMO (Medida Kaiser-Meyer-Olkin) y prueba de esfericidad de Bartlett. Matriz anti-imagen. Extracción: Método de componentes principales. Análisis de matriz de correlaciones mostrando solución factorial sin rotar y gráfico de sedimentación. Extraer autovalores mayores que uno. Rotación: Método Varimax mostrar solución rotada. Opciones: excluir casos según lista y en formato de presentación de los coeficientes ordenados por tamaños. Originalmente la prueba se diseñó con 21 ítems.

En la primera corrida del análisis factorial se obtuvo un coeficiente KMO (Medida Kaiser-Meyer-Olkin) de 0.727. El cual es deseable que se aproxime a 1 para justificar el uso del análisis factorial. La prueba de esfericidad de Bartlett arrojó un valor de 0.000 lo cual se considera ideal para la realización del análisis (tabla 6).

Tabla 6: *Prueba de KMO y Bartlett*

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.736
	Aprox. Chi-cuadrado	763.723
Prueba de esfericidad de Bartlett	Gl	210
	Sig.	0.000

Al analizar la matriz de correlación anti-imagen de la primera corrida no se detectaron ítems con puntuación menor a 0.500 por lo que no fue necesario eliminar ningún ítem.

En cuanto a la dimensionalidad de la escala se propusieron en un segundo intento 2 componentes. El software arrojó de manera sorprendente los dos factores que dividen la escala: Actitudes hacia el cálculo y actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. La matriz de componentes rotada se puede consultar en el apéndice E.

4.4 PROCEDIMIENTO

En la primera semana del curso se aplicó el pretest a manera de examen diagnóstico tanto en el grupo de control como en el experimental. Así mismo, se aplicó en ambos grupos la escala de actitudes AMMEC modificada. Posteriormente, el grupo experimental llevó el curso con el uso de WebAssign y el grupo de control no. Los alumnos con el STAL resolvieron varias actividades en la plataforma tanto en casa como en el aula. Estas actividades incluyen ejercicios de práctica, videos explicativos, ejercicios de autoevaluación, ejercicios interactivos, tareas, exámenes rápidos y consultas al libro electrónico. Un ejemplo de una pantalla de WebAssign se muestra en la figura 9.

0 / 4.54 puntos

BCalcETS 2.7.056 [3002144]

La cantidad (en libras) de café molido gourmet que vende una empresa cafetera a un precio de p dólares la libra es $Q = f(p)$.

(a) ¿Cuál es el significado de la derivada $f'(7)$?

- La tasa de cambio de la cantidad de café vendida con respecto al precio por libra cuando el precio es de \$ 7 por libra.
- La tasa de cambio del precio por libra con respecto a la cantidad de café vendida cuando el precio es de \$ 7 por libra.
- El precio del café en función de la oferta.
- La tasa de cambio del precio por libra con respecto a la cantidad de café vendida.
- El suministro de café tenía que venderse a 7 dólares la libra.

¿Cuáles son las unidades de $f'(7)$?

- dólares / (libra / libra)
- libras / (dólares / libra)
- libras
- libras / dólar
- dólares / libra
- dólares

(b) En general, ¿será $f'(7)$ positivo o negativo?

- positivo
- negativo

Solución o explicación
Haga clic para ver la solución

Need Help? Read it Watch it

Figura 9. Ejemplo de una pantalla de WebAssign

4.5 PRUEBAS ESTADÍSTICAS

La presente investigación es de enfoque cuantitativo con diseño experimental de alcance correlacional con hipótesis de diferencia de grupos. Por lo tanto, es factible someter dichas hipótesis a pruebas empíricas y análisis estadístico para determinar si son apoyadas o refutadas (Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018). Una prueba de hipótesis es una metodología que nos permite decidir si se puede aceptar o rechazar una afirmación sobre alguna población en función de la evidencia empírica obtenida de una muestra de datos. La prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre la población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa (también llamada hipótesis de investigación). La hipótesis nula es la afirmación que se probará con la prueba. La hipótesis nula afirma que “no hay efecto” o “no hay diferencia”. Con base en los datos empíricos, la prueba de hipótesis establece si se puede rechazar la hipótesis nula. La hipótesis alternativa es lo que se espera probar que es cierto. Para tomar esa decisión se emplea el valor p . Si el valor p es menor que el nivel de significancia (denotado como α o alfa), entonces se puede rechazar la hipótesis nula. En investigación de ciencias sociales el valor de alfa suele ser de 5% ($\alpha=0.05$). Al diseñar una prueba de hipótesis, se establece la hipótesis nula como lo que queremos desaprobamos. Entonces si $p < 0.05$, rechazamos la hipótesis nula y tendremos prueba estadística de que la alternativa es verdadera. Si $p > 0.05$ se concluye que no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Como se mencionó anteriormente, se trata de un diseño experimental pretest-postest con grupo de control. El diseño del experimento y las variables que se analizan se puede ver gráficamente en la figura 10. La comparación entre las medias de ambos grupos (experimental y de control) nos indicará si hubo o no efecto en la variable dependiente.

Para la primera etapa de la investigación la prueba de hipótesis se planteó de la siguiente manera:

H_0 : No hay diferencia en las medias de los grupos. $H_0: \mu = \mu_0$

H_1 : Hay diferencia estadística en las medias de los grupos. $H_1: \mu \neq \mu_0$

El aceptar la hipótesis nula planteada indicaría que no hay evidencia estadística de que el uso de un STAL influya en los resultados de aprendizaje de los alumnos. Por el contrario, si se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, habría evidencia de que el uso del STAL influyó en los resultados de aprendizaje de los alumnos.

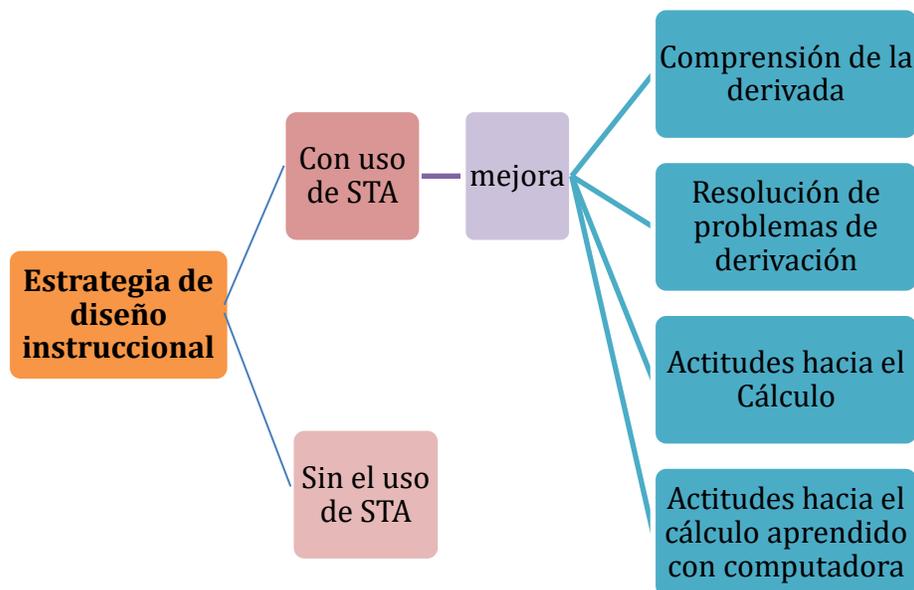


Figura 10. Esquema del experimento.

El análisis de datos cuantitativos se llevó a cabo mediante análisis descriptivo de cada variable de estudio y mediante análisis inferencial respecto a las hipótesis planteadas. Para

llevar a efecto estos análisis es necesario tomar en cuenta el tipo de variables y su nivel de medición.

En el presente trabajo de investigación se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- 1) **Análisis estadístico descriptivo.** Medidas de tendencia central. Medidas de dispersión. Evaluación de la normalidad.
- 2) **Prueba de comparación de ubicación** (zona de rechazo de la hipótesis nula). De acuerdo con las características de la presente investigación, la prueba estadística más adecuada es la prueba t de comparación de medias.
- 3) **Coefficiente de correlación de Pearson.** Para medir la correlación entre las variables dependientes.

4.5.1 ¿POR QUÉ UNA PRUEBA T?

Partimos de los objetivos, preguntas de investigación, hipótesis planteadas y tipo de muestra para la selección de la prueba más adecuada. En el caso de esta investigación, se tienen preguntas de comparación y muestras independientes (cada observación corresponde a un sujeto o caso distinto). En el caso de la variable “Comprensión de la derivada” se cuenta con datos en escala intervalo, mientras que para la variable “actitud” se cuenta con datos en escala ordinal. La hipótesis nula formula que los grupos (experimental y de control) no difieren significativamente y la hipótesis de investigación (o alternativa) propone que los grupos difieren significativamente entre sí. Para el primer caso (datos en escala de intervalo) y dadas las características de la investigación arriba mencionadas, la prueba recomendada es la prueba t–Student o simplemente llamada prueba t (Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018). Para el segundo caso (datos en escala ordinal) se sugiere la prueba equivalente llamada prueba de Mann-Whitney. La prueba t es un tipo de estadística deductiva ampliamente

empleada en investigación de las ciencias sociales para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. La prueba t se fundamenta en tres premisas: los datos se ajustan a una distribución normal, las varianzas son homogéneas y las muestras son independientes.

En el caso de esta investigación se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza. Si los datos de la variable “postest” cumplen con las condiciones de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia, se puede emplear una prueba t. De lo contrario, se sugiere utilizar la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

4.5.2 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS PLANTEADAS.

Tanto las pruebas descriptivas como las inferenciales, gozan en la actualidad de amplia aceptación entre la comunidad científica. En especial las denominadas Pruebas de significación estadística (PSE) como lo es la prueba t y la prueba Mann-Whitney. En este tipo de pruebas, el valor “p” usado para el contraste de hipótesis nos indica si un resultado pudo deberse a la casualidad o no. En el caso de la presente investigación se seleccionó un valor de significación de 5% ($p=0.05$). Si el valor de p obtenido en el estudio es bajo, es probable que los resultados no se deban a la casualidad, sino al tratamiento aplicado. Esto, aunado a las características bien llevadas del experimento, permitiría una generalización en la población de estudio.

En cuanto a las limitaciones, la principal es que se puede generalizar solo a la población de estudio, en este caso, los estudiantes de la universidad en la que se llevó a cabo el estudio. Si no se prueban las hipótesis, será necesario explicar las posibles razones (Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018). Otra limitación es la temporalidad. El estudio tiene validez

temporal. Finalmente, es necesario considerar la posibilidad de presencia de variables extrañas que se salen de control como pueden ser alumnos con poca disposición al contestar los instrumentos, alumnos con algún malestar como hambre, sueño, enfermedad, entre otros.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

El propósito general de este estudio fue evaluar el cambio en la comprensión del concepto de derivada y en las actitudes hacia el cálculo diferencial en estudiantes de una universidad privada en Puebla mediante el uso didáctico de un sistema tutor adaptativo en línea (STAL). En este capítulo se presentan por separado los resultados de cada una de las etapas de la investigación. En la primera etapa, se midió la variable comprensión de la derivada con el uso de un STAL. La segunda etapa consistió en la medición del efecto del uso de un STAL en las actitudes hacia el cálculo y el efecto en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora en estudiantes universitarios de primer semestre de una universidad privada de la ciudad de Puebla. Los resultados de la investigación están a su vez divididos en resultados descriptivos e inferenciales (pruebas de hipótesis). De acuerdo con los objetivos del estudio, las variables dependientes fueron la comprensión de la derivada como razón de cambio, la actitud hacia el cálculo y la actitud hacia el cálculo aprendido con computadora. Los resultados descriptivos realizados se resumen en la figura 11.

Este estudio sirvió como una evaluación de dos métodos de instrucción para enseñar cálculo universitario: instrucción mediante clases tradicionales en contraste con un plan de instrucción asistido por computadora, WebAssign. El estudio se llevó a cabo en una universidad privada de la ciudad de Puebla, Puebla durante el semestre de otoño de 2019. Se analizaron los datos de 70 estudiantes que se inscribieron en el curso de cálculo diferencial. En primer lugar, se investigó el cambio en la comprensión del concepto de derivada comparando dos métodos de instrucción uno con el uso de un STAL y el otro sin él. A continuación, se examinó el cambio en las actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora tanto en el grupo de control como en el grupo experimental.

Además, se realizó el análisis de los cambios por componente actitudinal (afectivo, cognitivo y conductual). Posteriormente, se investigó la correlación entre la comprensión de la derivada y el cambio en las actitudes de los estudiantes con el uso del STAL.

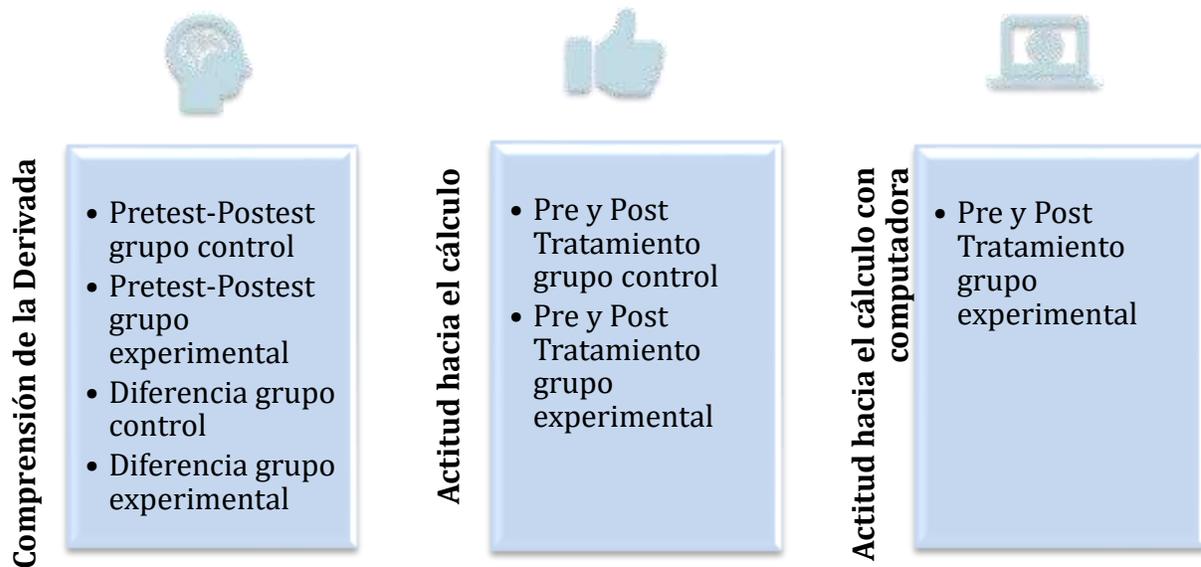


Figura 11. Organización de los resultados descriptivos.

5.1 ETAPA 1: MEDICIÓN DE LA VARIABLE COMPRENSIÓN DE LA DERIVADA CON EL USO DE UN STAL.

5.1.1 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA PRETEST

Al inicio del semestre agosto diciembre de 2019 se aplicó el pretest para medir la comprensión de la derivada como parte de la evaluación diagnóstica de los estudiantes de matemáticas 1. Se extrajeron los datos de los 70 alumnos que participaron en el estudio para la realización de las pruebas estadísticas. La primera prueba mostrada es una tabla de

frecuencias en la que se puede observar que en el grupo de control ($N=35$, $SD=16.26$, $\bar{x}=55.23$), el 63% de los alumnos del grupo de control obtuvo puntajes por debajo de 60, 31% estuvieron entre 60 y 80 y solo el 6% obtuvo calificación de más de 80. (figura 12). Por su parte, en el grupo experimental, los resultados del pretest ($N=35$, $SD=15.346$, $\bar{x}=53.51$) mostraron 69% de estudiantes por debajo de 60 de calificación, 26% entre 60 y 80 y 6% por arriba de 80 (figura 13). **Como puede verse, los grupos obtuvieron resultados muy parecidos. Esto puede dar indicio de homogeneidad entre los grupos de control y experimental al inicio de la prueba.**

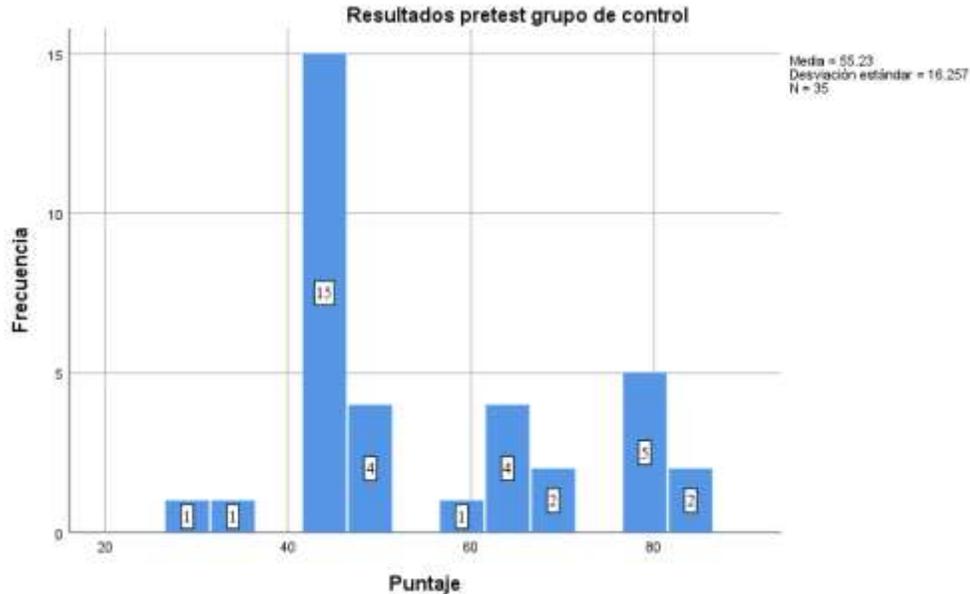


Figura 12. Resultados del pretest grupo de control

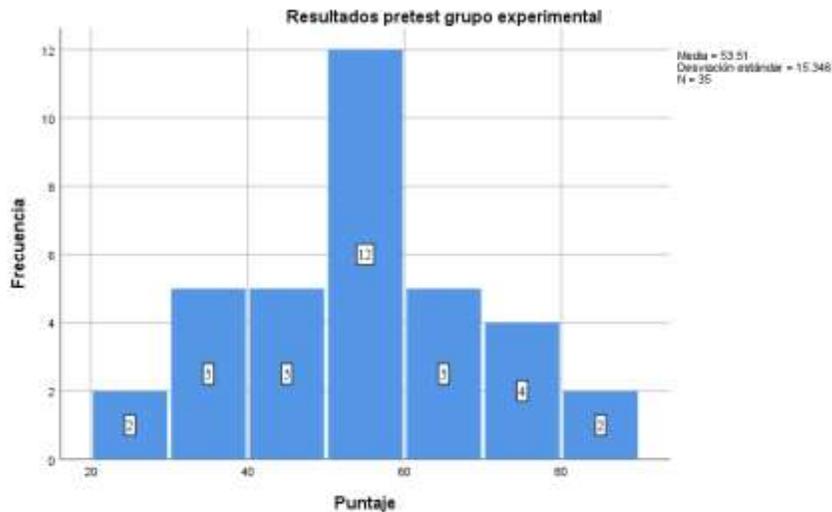


Figura 13. Resultados del pretest grupo experimental

5.1.2 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DEL POSTEST

Después de transcurrido el tratamiento, se aplicó el examen final del curso, en el cual se insertaron los ítems del postest. De dicho examen se extrajeron los datos de los mismos alumnos que habían participado del pretest. Como era de esperarse, ambos grupos mostraron un incremento en sus calificaciones en el postest. Sin embargo, fueron notorias las diferencias entre ambos grupos al respecto. En el postest, el grupo de control ($N=35$, $SD=15.51$, $\bar{x}=70.92$), obtuvo el 29% de calificaciones por debajo de 60, 34% entre 60 y 80 y 34% por arriba de 80 (figura 14). Por su parte, el postest del grupo experimental ($N=35$, $SD=15.176$, $\bar{x}=79$) mostró solo 9% de alumnos por debajo de 60, 43% entre 60 y 80 y 49% por arriba de 80 (figura 15). Otro dato que vale la pena resaltar es que en el grupo experimental hubo una diferencia de 9 puntos en el promedio del grupo con respecto al grupo de control.

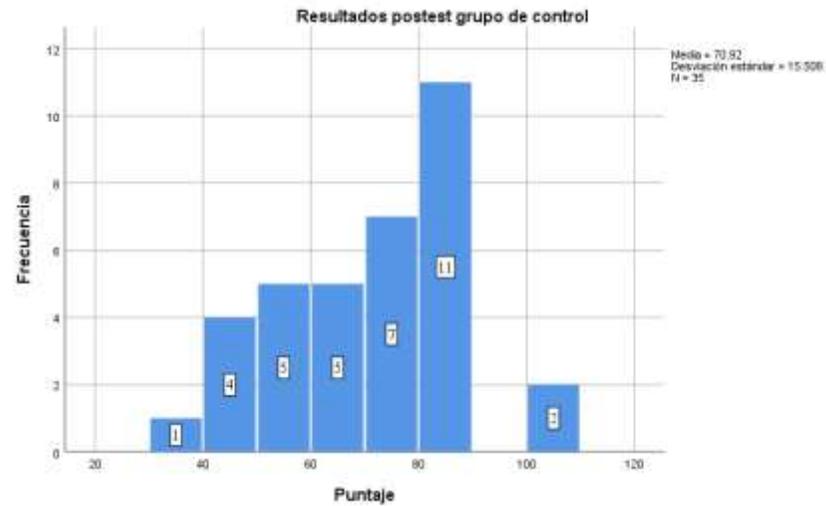


Figura 14. Resultados del postest grupo de control

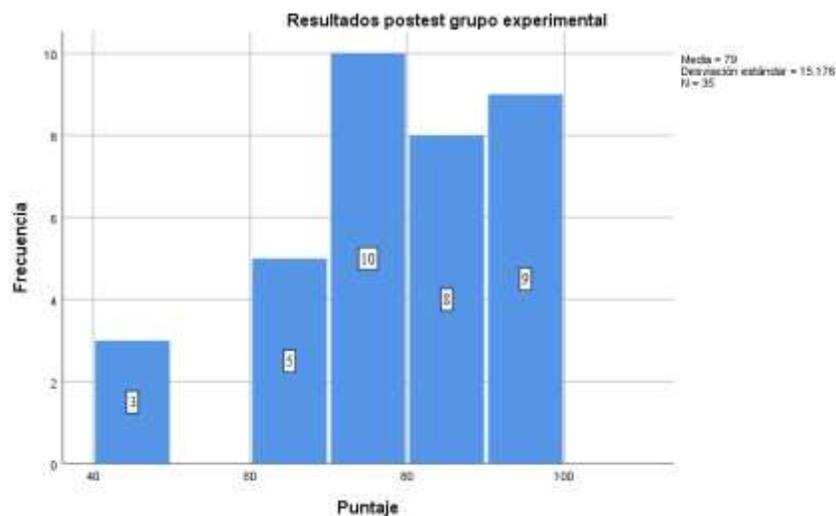


Figura 15. Resultados del postest grupo experimental

Un análisis que resulta pertinente es la diferencia entre el postest y el pretest para cada uno de los grupos (tabla 7). Comenzando por el grupo de control ($N=35$, $SD=11.3$, $\bar{x}=15.7$), el 40% de los alumnos obtuvieron una diferencia positiva de menos de 10 puntos, 20% de entre 10 y 20 puntos, 31% de entre 20 y 30 puntos, 3% entre 20 y 40 y 6% más de 40 puntos. Por

su parte, en el grupo experimental ($N=35$, $SD=17.7$, $\bar{x}=25.5$) el 26% de los estudiantes obtuvieron una diferencia menor a 10 puntos. Inclusive, hubo un 9% que presentó un decremento de entre 1 y 10 puntos en la diferencia posttest-pretest. Aunque a diferencia del grupo de control, hubo un 74% de alumnos que tuvieron incremento de más de 10 puntos contra el 60% de éste. También cabe resaltar que el 40% del grupo experimental obtuvo un incremento en el puntaje de más de 30 puntos, a diferencia del grupo de control en el que solo el 9% incrementó más de 30 puntos.

Tabla 7: *Diferencia de puntajes posttest-pretest*

Grupo	<10	10-20	20-30	30-40	>40
Control	40%	20%	31%	3%	6%
Experimental	26%	6%	29%	20%	20%

También es conveniente hacer notar que, en promedio, **el grupo experimental incrementó su puntaje en 25 puntos, mientras que el grupo de control lo hizo solo en 15.7**. Esta diferencia da indicios de que el tratamiento pudo haber tenido un efecto significativo, pero aún se debe realizar el análisis inferencial para comprobar esta afirmación.

5.1.3 INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LOS RESULTADOS

DESCRIPTIVOS

Las escalas cualitativas para interpretar los resultados de las pruebas se definieron en la operacionalización de las variables que puede verse en el apéndice D. Con base en dicha escala y los resultados anteriormente descritos, puede verse en la figura 16 una interpretación de los resultados del pretest para el grupo de control. En la figura se puede apreciar que en el grupo de control la mayoría de los alumnos (58 %) inició en un nivel bajo (calificación ≤ 60)

y el resto (42 %) inició en un nivel regular. Por su parte, el grupo experimental inició también con una mayoría en nivel bajo (54 %) y el resto (46 %) en nivel regular. Estos resultados sugieren la homogeneidad de los grupos al iniciar la prueba.

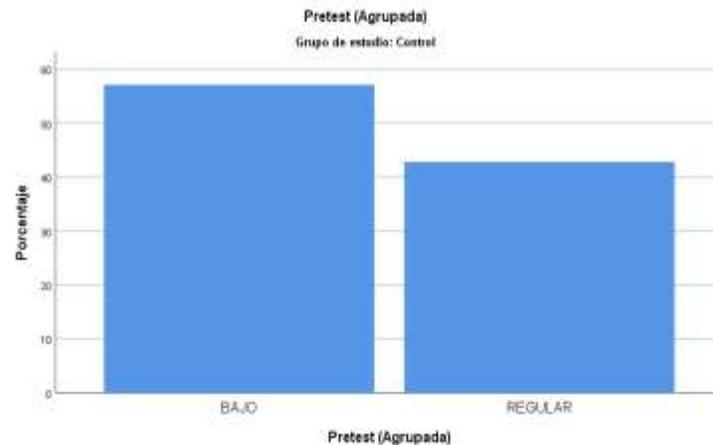


Figura 16. Resultados agrupados grupo control (Pretest)

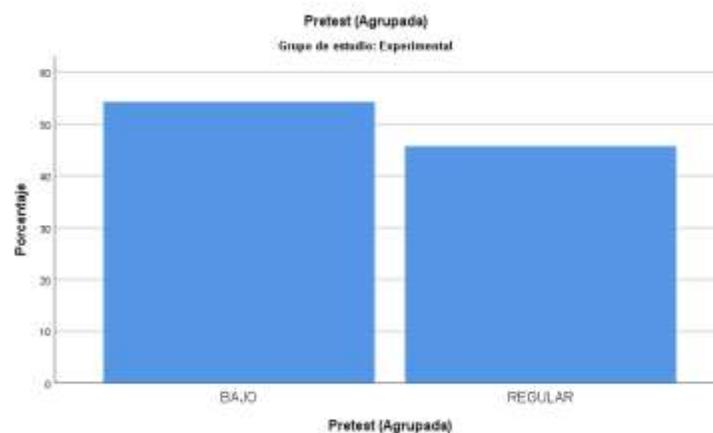


Figura 17: Resultados agrupados grupo experimental (Pretest)

En las figuras 18 y 19 se presentan las interpretaciones cualitativas de los cambios de cada uno de los grupos en los puntajes del posttest. Como puede verse, en el posttest el grupo de control obtuvo un 53% de casos en nivel bajo y 47% en regular, pero el grupo experimental obtuvo un 43% en nivel regular y el resto (57%) en nivel alto. Obsérvese que no hubo alumnos en nivel bajo en el grupo experimental, ni tampoco hubo alumnos con un nivel alto

en el grupo de control. Esto nuevamente muestra cierta evidencia de que el tratamiento pudo haber sido exitoso.

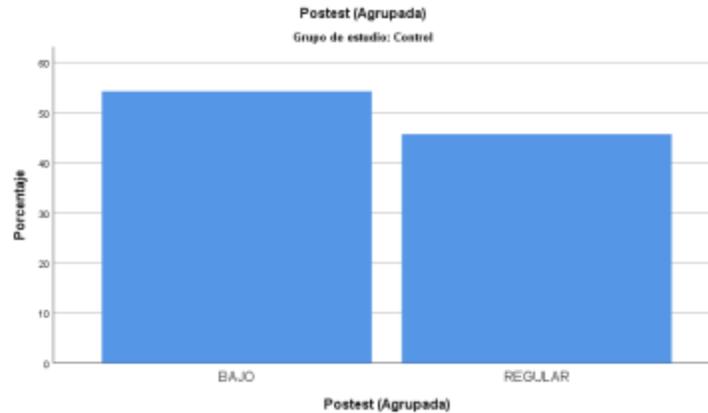


Figura 18. Resultados agrupados grupo de control (Postest)

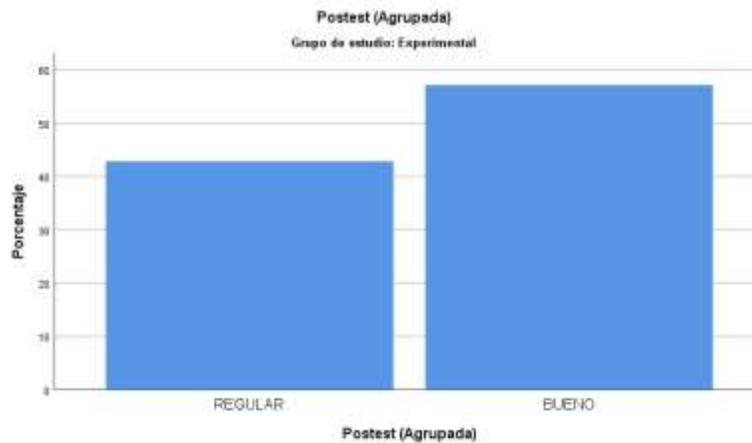


Figura 19. Resultados agrupados grupo experimental (Postest)

5.1.4 PRUEBAS DE HIPÓTESIS PARA LA COMPRESIÓN DE LA DERIVADA.

5.1.4.1 Validación de supuestos paramétricos

Para poder realizar pruebas paramétricas es necesario que los datos a utilizar cumplan con ciertas condiciones. Dos de estas condiciones que deben cumplir los datos son las pruebas de normalidad y homocedasticidad. La prueba de normalidad nos dice si los datos se ajustan a

una distribución normal de probabilidades y la de homocedasticidad nos indica si en el modelo predictivo la varianza del error condicional a las variables explicativas es constante a lo largo de las observaciones. Para validar los supuestos de normalidad y homocedasticidad se realizó la exploración de la diferencia entre el postest y el pretest con el programa IBM SPSS Statistics versión 25. Se seleccionó la ventana de estadísticos descriptivos y a continuación la de explorar. La variable dependiente es la columna de diferencia entre los valores del postest y el pretest y los factores a comparar son los grupos de control y experimental. En la opción de gráficos se seleccionó gráficos con pruebas de normalidad.

5.1.4.2 Prueba de normalidad

H_0 : la distribución observada se asemeja a la normal.

H_1 : la distribución observada no se asemeja a la normal.

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de la muestra es < 50 .

Tabla 8. *Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk de la diferencia postest-pretest*

Grupo	Estadístico	gl	Valor p
Control	0.958	35	0.194
Experimental	0.976	35	0.627

En la tabla 8 de pruebas de normalidad se puede ver que $p>0.05$ para ambos grupos en la prueba de diferencia entre pretest y postest. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Esto quiere decir que la distribución de datos se asemeja a una distribución normal.

5.1.4.2 Prueba de homogeneidad de varianzas

Para la prueba de homogeneidad se utilizó la prueba de Levene mediante el programa SPSS en la opción Analizar, comparar medias, ANOVA de un factor. En esta prueba se espera que el nivel de significancia sea mayor a 0.05 para poder aceptar la hipótesis nula.

H_0 : las varianzas son homogéneas.

H_1 : las varianzas son diferentes.

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: Test de Levene

Tabla 9. *Prueba de homogeneidad de varianzas del postest*

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3.527	1	68	0.065

Como se puede observar en la tabla 9, el nivel de significancia en la comparación de medias es $0.065 > 0.05$. Esto nos indica que no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que las varianzas son homogéneas. Por lo tanto, dado que se verificaron las pruebas de normalidad y la homogeneidad de los datos a emplear, es factible el uso de pruebas paramétricas en la comprobación de la hipótesis 1 de esta investigación.

5.1.5 ELABORACIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA COMPRENSIÓN DE LA DERIVADA

Una vez verificados los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó una prueba t para muestras independientes para la comprobación de la primera hipótesis de este trabajo de investigación: *El uso de un sistema tutor adaptativo en línea incrementará la*

comprensión del concepto de derivada como razón de cambio en alumnos de primer semestre de las carreras de ingeniería. Las hipótesis estadísticas son:

H₀: El tratamiento no influyó en la comprensión de la derivada

H_a: El tratamiento influyó en la comprensión de la derivada

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$

La prueba t se realizó nuevamente empleando el software IBM SPSS Statistics versión 25. Para ello se utilizó un nivel de confiabilidad $\alpha=0.05$, el cual es el indicado para pruebas estadísticas en ciencias sociales. Los resultados de la prueba aparecen en la tabla 10.

Tabla 10. *Prueba t para la igualdad de medias posttest $\alpha=0-05$*

Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Valor p
		Inferior	Superior	
-34.229	2.847	-39.909	-28.548	0.000

El criterio de decisión para las pruebas de hipótesis es el siguiente: si el nivel crítico (p valor) es $p<0.05$, al 95% de confiabilidad, entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 en favor de la alternativa H_a . Si el nivel crítico $p>0.05$ con un grado de confiabilidad de 95%, entonces se dice que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 .

Como puede verse, en la tabla 10, el nivel de significancia arrojado por el software estadístico SPSS fue 0.000, menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa. Esto significa que existe evidencia estadística para afirmar que los grupos tienen medias diferentes. Es decir, **hay evidencia estadística de que el uso de un sistema tutor adaptativo en línea influyó en la comprensión de la derivada** con un nivel de confianza

del 95%, por lo que podemos afirmar que se ha cumplido la primera hipótesis de este trabajo de tesis.

5.1.6 TAMAÑO DEL EFECTO

No obstante que existe una diferencia significativa entre las medias calculadas en el punto anterior, es importante saber qué tanto dicha diferencia se debió al tratamiento. Es decir, una diferencia significativa no es una diferencia necesariamente grande o importante, para ello se debe cuantificar la magnitud de dicha diferencia significativa. Para responder esta cuestión se suele utilizar la diferencia de medias estandarizadas conocida como **d** de Cohen. Esta es una medida del tamaño del efecto como diferencia de medias ajustada. Es decir, nos dice cuántas desviaciones estándar de diferencia hay entre los resultados de los dos grupos que se comparan. En este caso se calculó para el grupo experimental antes y después de la intervención.

Tabla 11: *Estadísticas de muestras emparejadas de la prueba T.*

		Media	N	Desviación Estándar
Par 1	Pretest Exp	53.51	35	15.346
	Postest Exp	79.00	35	15.176

La fórmula de la **d** de Cohen para el tamaño del efecto es la siguiente:

$$d = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2 - SD_2^2}{2}}} = \frac{79 - 53.51}{\sqrt{\frac{(15.176)^2 - (15.346)^2}{2}}} = 1.67$$

Donde,

d = Valor d de Cohen (diferencia de medias estandarizada), M1,M2 = Valores medios del primer y segundo conjunto de datos, SD1,SD2 = Desviación estándar del primer y segundo

conjunto de datos. Cohen, (2013) define un efecto pequeño si $d=0.20$, efecto medio si $d=0.50$ y un efecto grande si $d=0.80$. Como puede verse, en esta investigación se obtuvo un valor de Cohen $d=1.67$, por lo que se considera que **el efecto del tratamiento en grupo experimental fue muy grande.**

Para tener una idea de la correlación del efecto, se suele calcular además el índice r . Con el dato d de Cohen calculado anteriormente se puede obtener el coeficiente de correlación r :

$$r = \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4}} = \frac{1.67}{\sqrt{1.67^2 + 4}} = 0.64$$

La interpretación de este último valor es la siguiente :

$r = 0.10$: Efecto pequeño. En este caso explica el 1% de la varianza total.

$r = 0.30$: Efecto medio. El efecto explica el 9% de la varianza total.

$r = 0.50$ o superior: Efecto grande. El efecto explica el 25% de la varianza total.

Nuevamente se confirma que el efecto del tratamiento (uso de un STAL) fue grande en los estudiantes del grupo experimental.

5.2 ETAPA 2: ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO Y HACIA EL CÁLCULO APRENDIDO CON COMPUTADORA.

La segunda etapa del estudio consistió en averiguar la veracidad de la segunda hipótesis de este trabajo de tesis: *El uso de un sistema tutor adaptativo en línea incrementará las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.*

Vale la pena recordar en este punto que el presente trabajo de tesis se enfocó exclusivamente en las actitudes y sus componentes de acuerdo con el modelo tricomponente (afectivo, cognitivo y conductual) y no nos interesamos en las emociones ni en creencias, que pueden ser materia de otro trabajo de investigación.

Durante la primera semana de curso del semestre agosto diciembre de 2019 se aplicó la escala AMMEC modificada (apéndice A) a manera de pretest para medir las actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido por computadora a todos los alumnos que participaron en la investigación y que respondieron también la prueba de comprensión de la derivada de la etapa 1. Posteriormente, se volvió a aplicar la escala durante la semana del examen final y se extrajeron los datos de los mismos 70 alumnos que participaron en el estudio para la realización de las pruebas estadísticas. En la tabla 12 se hace una comparación entre los estadísticos descriptivos de la escala aplicada al inicio y al final del curso.

Tabla 12. *Estadísticos descriptivos Actitudes inicial y final*

		SUMA	SUMA
		PRE	POST
N	Válido	70	70
	Perdidos	1	1
Mediana		69.00	68.50
Desviación estándar		11.589	13.062
Asimetría		-0.195	-0.219
Curtosis		0.375	0.688
Mínimo		35	27
Máximo		94	98
Percentiles	25	62.75	61.75
	50	69.00	68.50
	75	78.00	77.00

En la tabla 12 se puede observar que existe gran similitud entre las medianas. El coeficiente de asimetría es negativo pero pequeño lo que muestra un leve sesgo hacia la izquierda. El signo de la curtosis nos indica que la distribución sigue una curva leptocúrtica, es decir, hay muy poca dispersión entre los datos. Finalmente, se observa que el 25% de los puntajes estuvieron por debajo de 62.75 al inicio y por debajo de 61.75 al final. Tres cuartas partes de los puntajes estuvieron por debajo de 78% en el inicio y por debajo del 77% al final.

Las figuras 20 y 21 muestran la distribución de frecuencias entre los dos grupos para la escala de actitudes antes y después del tratamiento respectivamente. Como puede observarse el error típico de la media para los límites de la caja dan muestra de normalidad. Esto es, si la línea media de un grupo se puede proyectar sobre el otro, cayendo dentro de la caja tanto de ida como de vuelta, entonces las medias de ambos grupos se pueden considerar iguales lo cual es un indicio de grupos homogéneos. La simetría de los diagramas de caja y bigote sugieren que los datos se ajustan a una distribución normal. Sin embargo, este supuesto se comprobó más adelante con la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ($n < 50$).

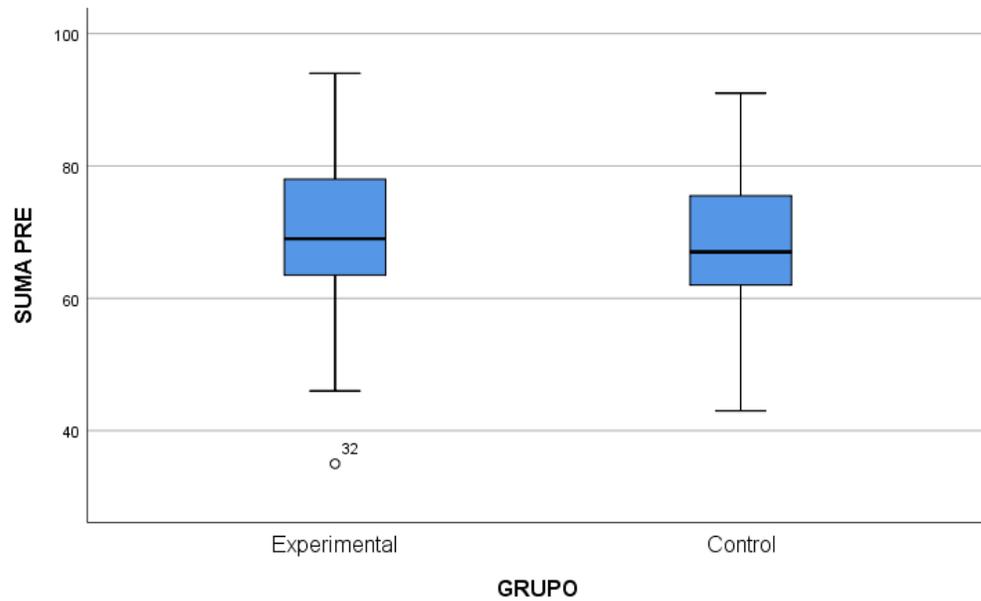


Figura 20. Características descriptivas de los grupos. Actitud inicial

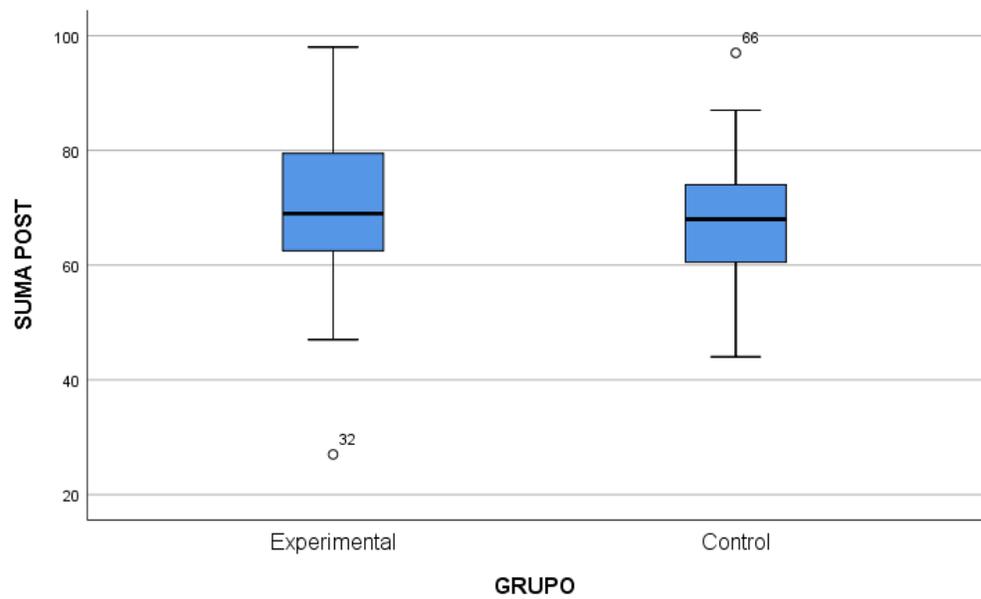


Figura 21. Características descriptivas de los grupos. Actitud final

Para conocer la variabilidad de los ítems, se calcularon los estadísticos descriptivos por cada uno de ellos; estos pueden verse en la tabla 13. Para no utilizar la descripción completa de cada ítem se numeraron los ítems de la escala de actitudes iniciales y finales: PRE indica aplicación inicial (pretest) y POST indica resultados de la aplicación final (postest). La descripción completa de los ítems puede verse en la tabla 14 o en el apéndice A.

Tabla 13. *Estadísticos descriptivos por ítem.*

	N	Suma	Media	Desviación estándar
PRE ITEM 1	70	236	3.37	1.079
PRE ITEM 2	70	279	3.99	0.940
PRE ITEM 3	70	219	3.13	0.962
PRE ITEM 4	70	144	2.06	1.250
PRE ITEM 5	70	188	2.69	1.161
PRE ITEM 6	70	203	2.90	1.287
PRE ITEM 7	70	312	4.46	0.736
PRE ITEM 8	70	240	3.43	1.174
PRE ITEM 9	70	224	3.20	1.292
PRE ITEM 10	70	228	3.26	1.059
PRE ITEM 11	70	226	3.23	0.935
PRE ITEM 12	70	220	3.14	1.333
PRE ITEM 13	70	272	3.89	0.877
PRE ITEM 14	70	259	3.70	1.289
PRE ITEM 15	70	326	4.66	0.720

PRE ITEM 16	70	175	2.50	1.248
PRE ITEM 17	70	112	1.60	0.824
PRE ITEM 18	70	269	3.84	1.112
PRE ITEM 19	70	207	2.96	1.197
PRE ITEM 20	70	246	3.51	1.201
PRE ITEM 21	70	261	3.73	1.239
POST ITEM 1	70	221	3.16	1.223
POST ITEM 2	70	213	3.04	1.527
POST ITEM 3	70	192	2.74	1.200
POST ITEM 4	70	183	2.61	1.458
POST ITEM 5	70	248	3.54	1.501
POST ITEM 6	70	208	2.97	1.329
POST ITEM 7	70	251	3.59	1.440
POST ITEM 8	70	215	3.07	1.208
POST ITEM 9	70	249	3.56	1.002
POST ITEM 10	70	200	2.86	1.344
POST ITEM 11	70	247	3.53	1.086
POST ITEM 12	70	276	3.94	1.178
POST ITEM 13	70	299	4.27	0.931
POST ITEM 14	70	217	3.10	1.562
POST ITEM 15	70	207	2.96	1.715
POST ITEM 16	70	235	3.36	1.330
POST ITEM 17	70	143	2.04	1.122

POST ITEM 18	70	271	3.87	0.916
POST ITEM 19	70	234	3.34	1.273
POST ITEM 20	70	249	3.56	1.175
POST ITEM 21	70	251	3.59	1.210

Para analizar los resultados de la tabla 13 recordemos (capítulo 4) que la escala AMMEC modificada es una escala Likert de 21 ítems con 5 niveles de respuesta: no, poco, indeciso, sí y mucho. A cada nivel de respuesta se le asignó un valor de 1 a 5, donde 1 indica un fuerte desacuerdo y 5 un fuerte acuerdo. Como puede observarse en la tabla 13, la dispersión de los datos es en general pequeña y no se percibe la presencia de datos atípicos.

5.2.1 ESTADÍSTICOS DE ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO Y HACIA EL CÁLCULO APRENDIDO CON COMPUTADORA

A continuación, se presentan los resultados en forma separada para las actitudes hacia el cálculo (ítems 1 a 8, 10, 11 y 20) y posteriormente, los resultados para las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora (ítems 9, 12 a 19 y 21).

La figura 22 muestra los resultados de las Actitudes hacia el cálculo para el grupo de control y grupo experimental. En la gráfica se puede observar que el grupo de control tuvo variaciones importantes en función del ítem respondido. El grupo experimental mostró mucho menor variabilidad. Para la interpretación de los comportamientos por ítem, se puede referir a la tabla 14. En el caso de las actitudes hacia el cálculo del grupo de control se observaron tres ítems que llaman la atención por la gran diferencia mostrada, estos son: el 2 (la clase de cálculo es aburrida), el 5 (el cálculo es divertido) y el 7 (es importante aprender cálculo). Existen varios alumnos que consideran la clase de cálculo aburrida, pero algunos

otros consideran al cálculo divertido. Esta aparente contradicción puede deberse a diversos factores tales como la actitud del profesor, la disponibilidad de los alumnos para responder, la metodología de enseñanza, entre otros. Así mismo, el ítem “es importante aprender cálculo” tuvo una diferencia negativa entre el inicio y el final. Esto significa que los estudiantes del grupo de control apreciaban más la importancia del cálculo antes del curso que después. Este hallazgo también plantea nuevas interrogantes al respecto. ¿Por qué los alumnos consideran menos importante aprender cálculo luego de haber llevado el curso?

Los resultados mostrados en las figuras 22 y 23 se obtuvieron con la suma de las diferencias entre cada uno de los ítems en ambos grupos. Por ejemplo, para obtener el primer punto de la figura 22 la sumatoria de las diferencias entre los puntajes postest y pretest del ítem 1 (Me gusta el cálculo) fue de -2 en el grupo experimental, mientras que en el grupo de control fue de -13. De manera similar se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 23, solo que para las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. En ambas gráficas, una mayor suma de diferencias indica una actitud más positiva, mientras que una menor suma de diferencias indica una actitud más negativa.

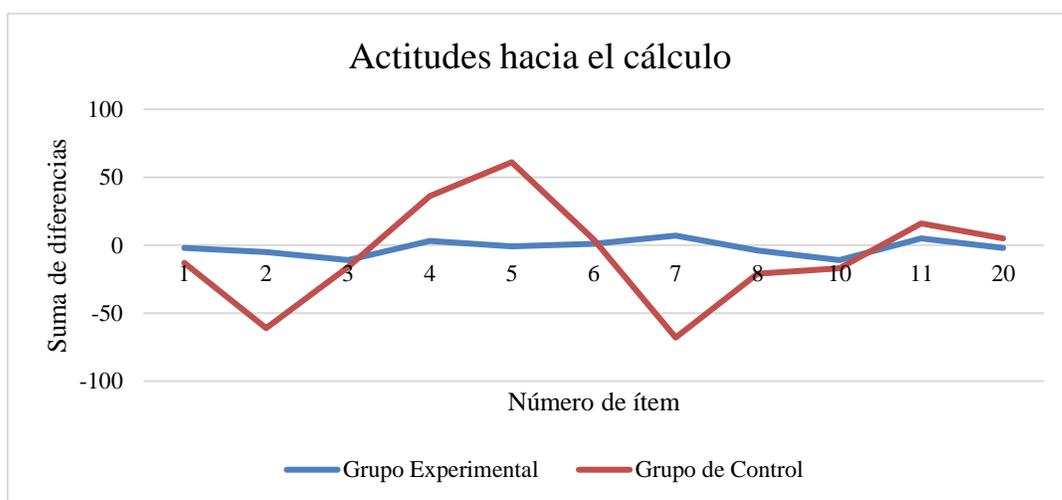


Figura 22. Actitudes hacia el cálculo.

En la figura 23 se muestran los resultados de las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora (ítems 9, 12 a 19 y 21). Nuevamente se observó una mayor variabilidad en las respuestas del grupo de control con respecto al grupo experimental. En este caso resaltan las diferencias en los ítems 15 (me pongo nervioso al usar la computadora) y 16 (aprendería más cálculo si pudiera usar más tiempo la computadora). En el caso de la diferencia negativa que mostró el ítem 15, puede entenderse que los estudiantes tenían una actitud más positiva al inicio del curso que al final hacia uso de una computadora para el aprendizaje del cálculo. La diferencia positiva que se observa en el ítem 16 puede deberse a que los alumnos reconocen la importancia de la tecnología en el aprendizaje del cálculo y esto favoreció sus actitudes al respecto.

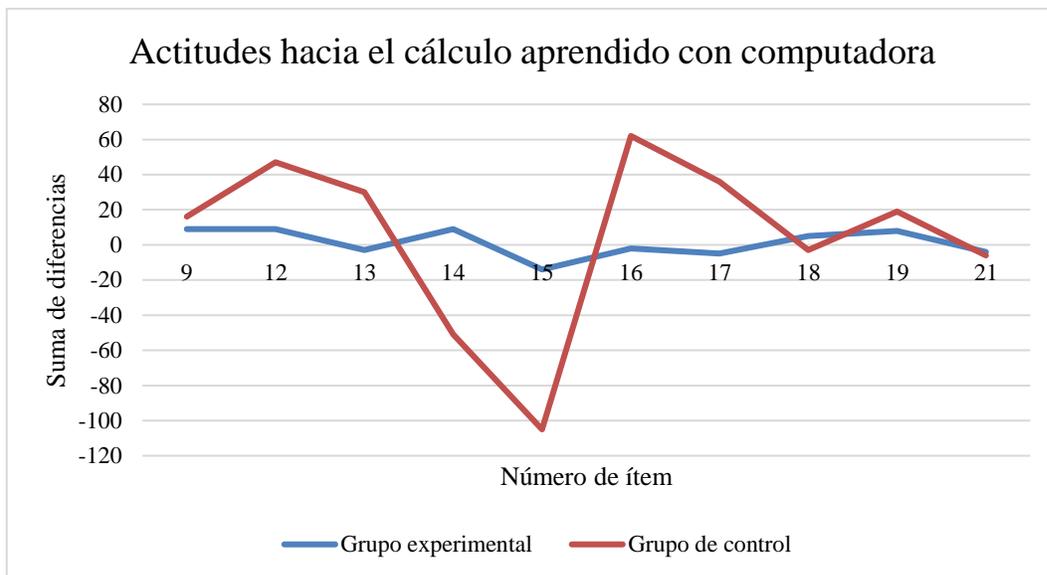


Figura 23. Actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.

5.2.2 ANÁLISIS POR ÍTEM

En la tabla 14 se muestran los ítems que correspondieron a la medición de las actitudes hacia el cálculo y los que se emplearon para la medición de las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.

Tabla 14: *Clasificación de ítems en actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora.*

ITEM	Actitud que mide
1. Me gusta la clase de cálculo	Actitud hacia el cálculo
2. La clase de cálculo es aburrida	Actitud hacia el cálculo
3. El cálculo es difícil	Actitud hacia el cálculo
4. Cálculo es la materia que me gusta más	Actitud hacia el cálculo
5. El cálculo es divertido	Actitud hacia el cálculo
6. Me gusta el cálculo	Actitud hacia el cálculo
7. Es importante aprender cálculo	Actitud hacia el cálculo
8. Me gustaría usar el cálculo cuando ya vaya a trabajar	Actitud hacia el cálculo
9. Me gusta aprender cálculo con computadora	Con computadora
10. Tengo dificultad para entender lo que me piden en los problemas de cálculo	Actitud hacia el cálculo
11. Puedo resolver los problemas de cálculo planteados	Actitud hacia el cálculo
12. Prefiero las clases de cálculo sin computadora	Con computadora
13. Me gusta manejar la computadora	Con computadora
14. Prefiero que un compañero maneje la computadora	Con computadora
15. Me pongo nervioso al usar la computadora	Con computadora
16. Aprendería más cálculo si pudiera usar más tiempo la computadora	Con computadora

17. Me gusta más el cálculo cuando el maestro explica y pone ejemplos	Con computadora
18. Es fácil usar la computadora	Con computadora
19. Si fuera profesor de cálculo enseñaría con computadora	Con computadora
20. Comento las actividades de cálculo con mis compañeros	Actitud hacia el cálculo
21. La clase de cálculo con computadora es aburrida	Con computadora

Se realizó la suma de los puntajes de cada ítem tanto para el pretest como para el postest en ambos grupos para analizar los cambios en cada uno de los ítems. La figura 24 muestra la comparación entre ítems en el grupo de control. Las líneas azules corresponden al pretest y las rojas al postest.

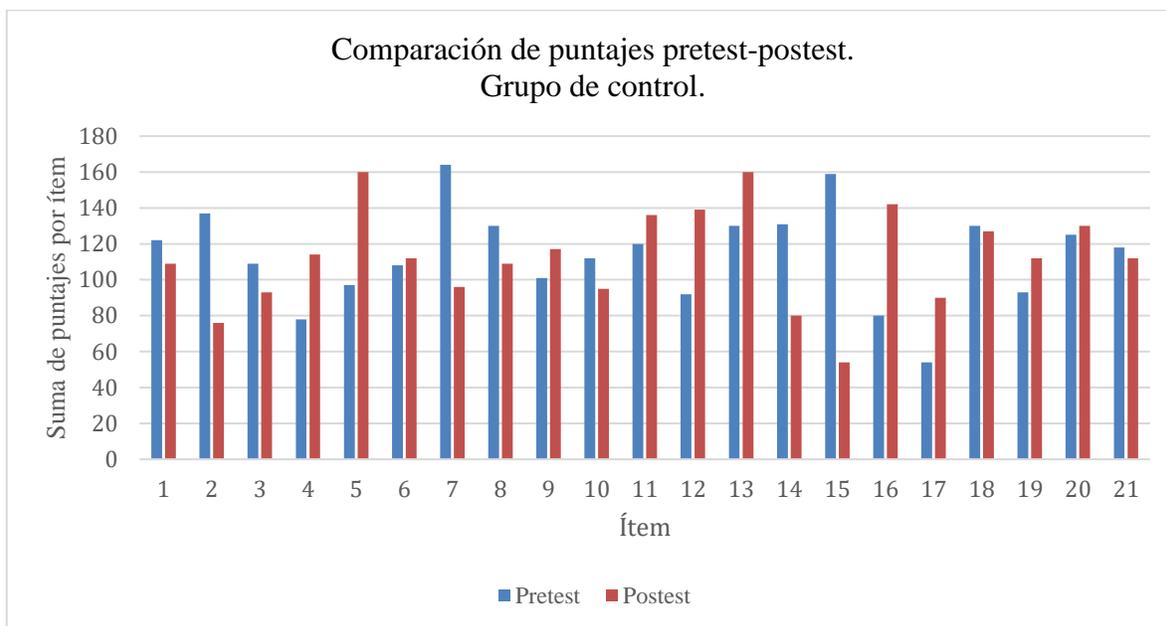


Figura 24: Comparación de puntajes pretest-postest grupo de control.

Como se puede ver en el gráfico de la figura 24 el 52% de los ítems mostraron algún incremento, el resto tuvo un decremento. Los ítems que mostraron incremento fueron 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 19 y 20. De estos ítems que mostraron un incremento, el 45% corresponden a las actitudes hacia el cálculo y el 55% a las actitudes hacia el cálculo

aprendido con computadora. Los ítems que arrojaron un decremento fueron 1, 2, 3, 7, 8, 10, 14, 15, 18 y 21. De estos, el 60% corresponden a las actitudes hacia el cálculo y el 40% a las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. Como se puede observar, **incrementaron más los puntajes de las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.**

En la figura 25 se muestra la comparación entre ítems en el grupo experimental

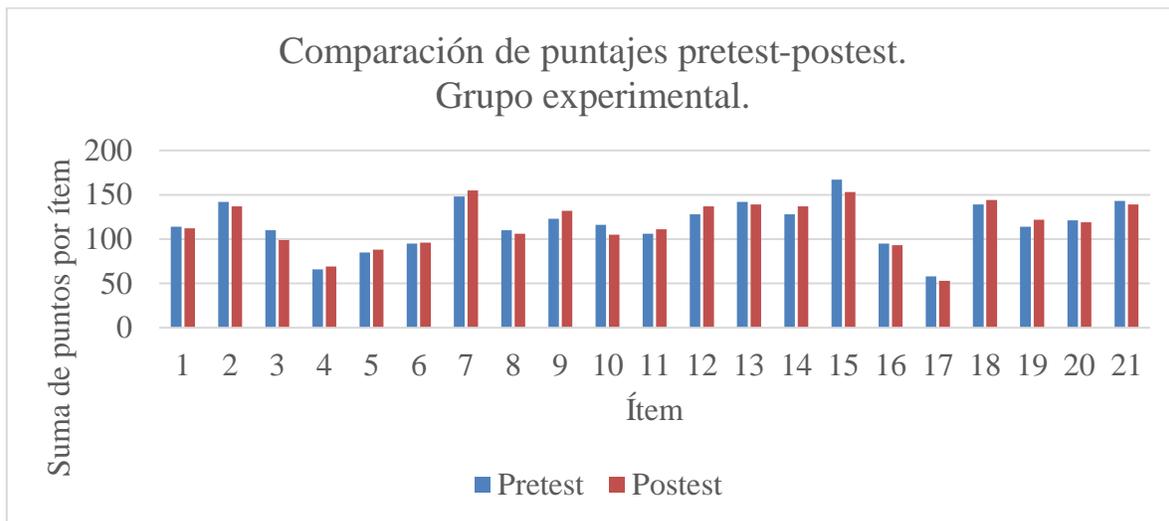


Figura 25: Comparación de puntajes pretest-postest grupo experimental.

En la figura 25 se puede observar que un 48% del grupo experimental registró un incremento entre el pretest y el postest. Sin embargo, el 52% registró un decremento. Los ítems en donde se observó incremento son 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 18, 19. De estos, el 50% correspondió a las actitudes hacia el cálculo y el otro 50% a las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. A continuación, se analizan los resultados por componente afectivo, cognitivo y conductual y posteriormente se incluye un análisis por ítem y por alumno.

5.2.3 ANÁLISIS POR COMPONENTE (MODELO TRIPARTITA)

Como se ha mencionado, uno de los intereses de la presente investigación y una de las aportaciones más importantes está en el análisis de los tres componentes de las actitudes hacia el cálculo: el componente afectivo, el cognitivo y el conductual. En la escala AMMEC modificada que se empleó en la recolección de datos se realizó la división por componente para el mencionado análisis. En la tabla 15 se muestra la clasificación de cada ítem de acuerdo con el componente que mide, estos componentes han sido definidos previamente en el capítulo 3 (p. 61) y, fueron validados por jueceo de expertos. El componente afectivo está medido por los ítems 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 17 y 21; el componente cognitivo se midió con los ítems 3, 7, 10, 11, 14, 16 y 18 y el componente conductual se midió con los ítems 8, 15, 19 y 20.

Tabla 15. *Clasificación de ítems por componente.*

ITEM	COMPONENTE
1. Me gusta la clase de cálculo	Afectivo
2. La clase de cálculo es aburrida	Afectivo
4. Cálculo es la materia que me gusta más	Afectivo
5. El cálculo es divertido	Afectivo
6. Me gusta el cálculo	Afectivo
9. Me gusta aprender cálculo con computadora	Afectivo
12. Prefiero las clases de cálculo sin computadora	Afectivo
13. Me gusta manejar la computadora	Afectivo
17. Me gusta más el cálculo cuando el maestro explica y pone ejemplos	Afectivo
21. La clase de cálculo con computadora es aburrida	Afectivo
3. El cálculo es difícil	Cognitivo
7. Es importante aprender cálculo	Cognitivo
10. Tengo dificultad para entender lo que me piden en los problemas de cálculo	Cognitivo
11. Puedo resolver los problemas de cálculo planteados	Cognitivo
14. Prefiero que un compañero maneje la computadora	Cognitivo
16. Aprendería más cálculo si pudiera usar más tiempo la computadora	Cognitivo
18. Es fácil usar la computadora	Cognitivo

8. Me gustaría usar el cálculo cuando ya vaya a trabajar	Conductual
15. Me pongo nervioso al usar la computadora	Conductual
19. Si fuera profesor de cálculo enseñaría con computadora	Conductual
20. Comento las actividades de cálculo con mis compañeros	Conductual

5.2.3.1 Cambios actitudinales en el grupo de control

El primer análisis corresponde a los cambios actitudinales en el grupo de control. Se analizó la sumatoria de los puntajes de cada uno de los ítems que corresponden a la medición de cada una de las componentes: afectiva, cognitiva y conductual. A continuación, se pueden observar los resultados de los cambios actitudinales en el grupo de control para el componente afectivo (figura 26). En esta gráfica se observa que únicamente en el 30% de los casos se mostró un decremento en las actitudes de los estudiantes del grupo de control en el componente afectivo. El componente afectivo mide de manera general el gusto o desagrado que los alumnos tienen hacia cálculo, por lo que estos resultados muestran que **hubo un incremento del 70% en el gusto de los estudiantes hacia el cálculo.**

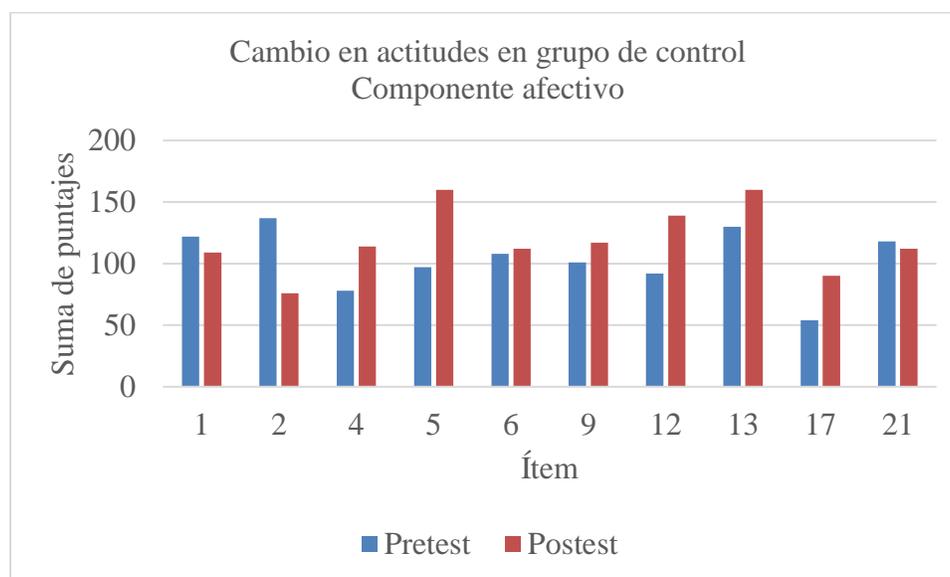


Figura 26. Cambio actitudinal. Componente afectivo. Grupo de control

El siguiente componente analizado fue el cognitivo. Este componente se refiere a las creencias del alumno hacia la materia, las percepciones, estereotipos, informaciones e ideas que tiene el sujeto acerca del objeto. En este componente, también tienen un papel importante las creencias acerca del propio alumno, acerca del contexto social en que se encuentra y acerca de la enseñanza de la materia.

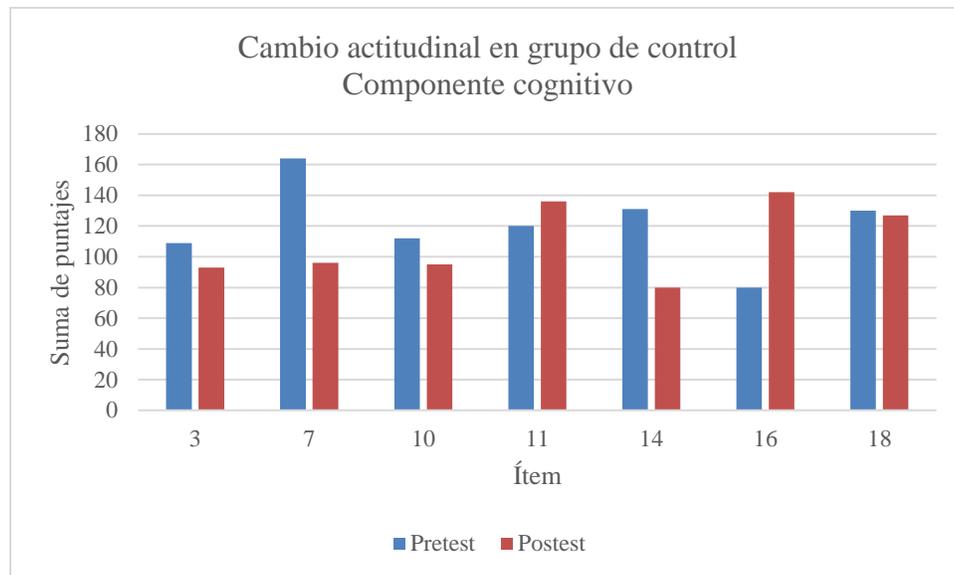


Figura 27. Cambio actitudinal. Componente cognitivo. Grupo de control

En la figura 27 se muestran los resultados del cambio actitudinal de los participantes del grupo de control en cuanto al componente cognitivo. Llama la atención que el 71% de los estudiantes tuvieron un decremento actitudinal. Es decir, las creencias y percepciones de los alumnos fueron más negativas en un 71% que antes del tratamiento.

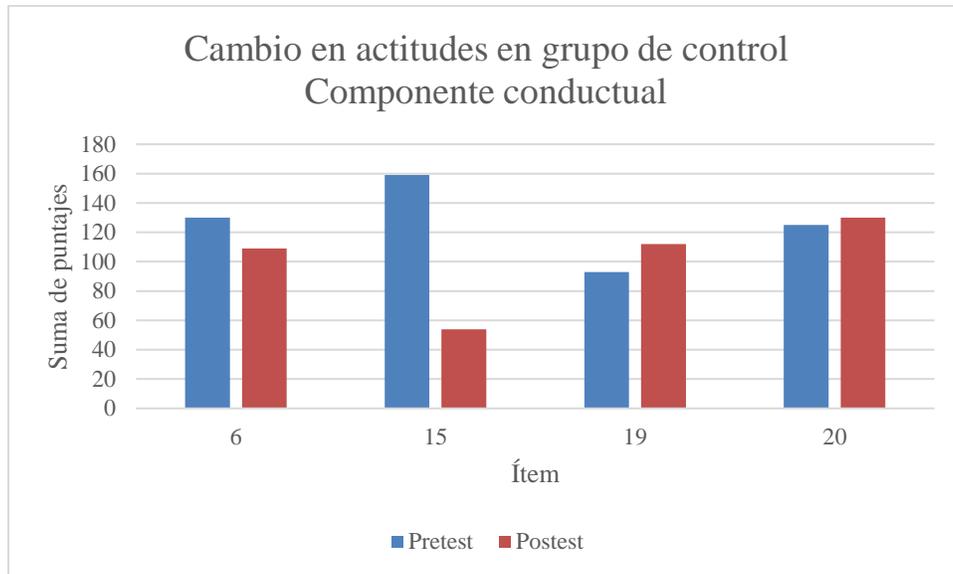


Figura 28. Cambio actitudinal. Componente conductual. Grupo de control

En cuanto al cambio actitudinal referente al componente conductual, se observa en la figura 28 que un 50% de estudiantes mejoraron su actitud, y el otro 50% la empeoró. Los incrementos en la actitud, referente al componente conductual, se presentó en los ítems 19 y 20. En el ítem 19 los estudiantes reconocen que el uso de la computadora ayuda al aprendizaje, pues señalaron con un incremento en las actitudes del 20%, mencionaron que de ser profesores ellos enseñarían con computadora. El incremento en el ítem 20 fue apenas del 4%. Aquí observamos que a los estudiantes les gusta muy poco hablar sobre cálculo con sus compañeros. Los ítems con decremento fueron el 8 y el 15. En el ítem 8 se comprueba que los estudiantes no quieren tener nada que ver con el cálculo cuando vayan a trabajar. Sin embargo, el ítem 15 proporciona una contradicción interesante: los estudiantes se ponen nerviosos cuando utilizan la computadora.

5.2.4 CAMBIOS ACTITUDINALES EN EL GRUPO EXPERIMENTAL

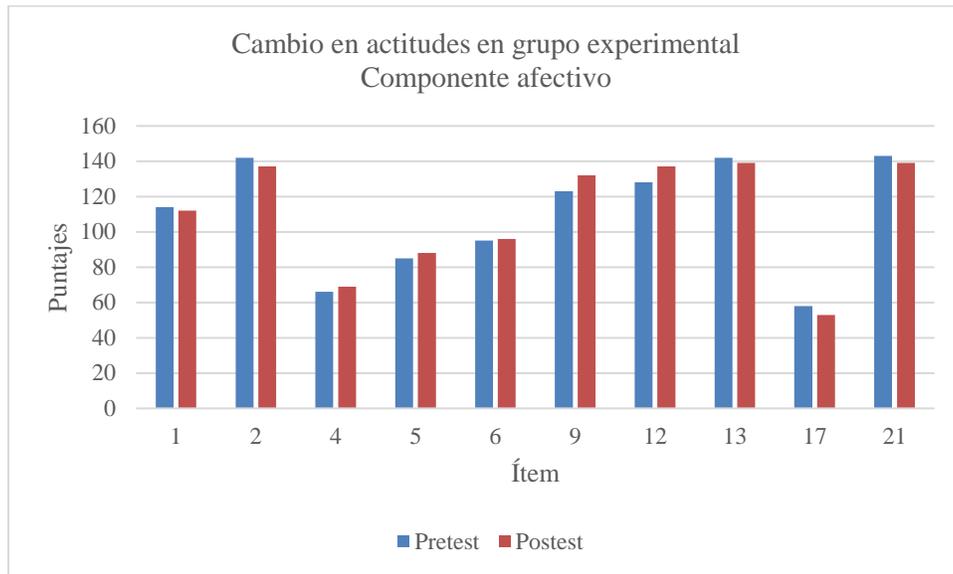


Figura 29: Cambio actitudinal. Componente afectivo. Grupo experimental

A continuación, se comenta el análisis de los resultados del grupo experimental en cuanto al cambio actitudinal en los tres componentes del modelo tripartita. En la figura 29 aparecen los resultados del cambio actitudinal referido al componente afectivo. Este componente se midió con los ítems 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 17 y 21. Los cambios porcentuales fueron respectivamente -2%, -4%, 4%, 3%, 1%, 7%, 7%, -2%, -9% y -3%. Como se observa, la mitad de los resultados implican un incremento en las actitudes y la otra mitad un decremento en lo que al componente afectivo se refiere. El mayor decremento se presentó en el ítem 17 (Me gusta más el cálculo cuando el maestro explica y pone ejemplos). **Este resultado resulta ser muy interesante, pues nos dice que los estudiantes en realidad prefieren los ejemplos que les proporciona la computadora por encima de los que explica y pone el profesor.**

Tabla 16: *Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente afectivo. Grupo experimental.*

Ítem	%
1. Me gusta la clase de cálculo	-2%
2. La clase de cálculo es aburrida	-4%
4. Cálculo es la materia que me gusta más	4%
5. El cálculo es divertido	3%
6. Me gusta el cálculo	1%
9. Me gusta aprender cálculo con computadora	7%
12. Prefiero las clases de cálculo sin computadora	7%
13. Me gusta manejar la computadora	-2%
17. Me gusta más el cálculo cuando el maestro explica y pone ejemplos	-9%
21. La clase de cálculo con computadora es aburrida	-3%

Los demás ítems en donde se observaron incrementos en la actitud de los estudiantes junto con sus correspondientes porcentajes se muestran en la tabla 16. Resalta el gusto por el cálculo, el hecho de que les parezca divertido y el gusto por aprender cálculo con computadora. Sin embargo, también se muestra otra contradicción interesante. Varios alumnos manifiestan una preferencia hacia las clases de cálculo sin el uso de computadora.

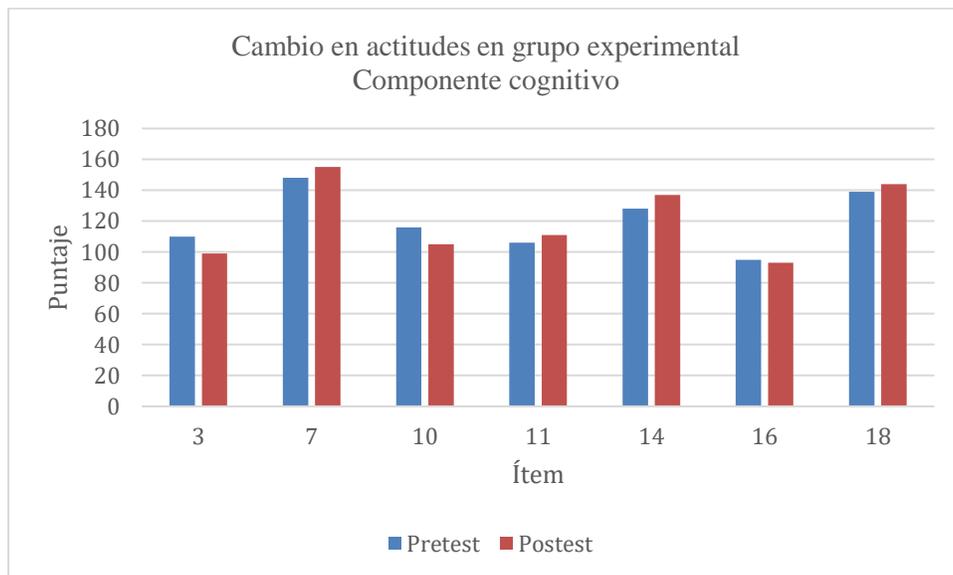


Figura 30: Cambio actitudinal. Componente cognitivo. Grupo experimental

El componente cognitivo mostró un incremento en un 57% de los casos. La tabla 17 proporciona los porcentajes en los que se observaron incrementos y decrementos por cada uno de los ítems que midieron el componente cognitivo.

Tabla 17: *Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente cognitivo. Grupo experimental.*

Ítem	%
3. El cálculo es difícil	-11%
7. Es importante aprender cálculo	5%
10. Tengo dificultad para entender lo que me piden en los problemas de cálculo	-10%
11. Puedo resolver los problemas de cálculo planteados	5%
14. Prefiero que un compañero maneje la computadora	7%
16. Aprendería más cálculo si pudiera usar más tiempo la computadora	-2%
18. Es fácil usar la computadora	3%

Un resultado que vale la pena resaltar es el del ítem 3 (el cálculo es difícil). El 11% de los alumnos perciben el cálculo más difícil al final del tratamiento que al inicio. Dentro de los ítems que arrojaron incremento en las actitudes se percibe la importancia que dan al aprendizaje del cálculo, se sienten más confiados en la resolución de problemas y en el uso de la computadora. Los estudiantes no consideran que aprenderían más cálculo si utilizaran más tiempo la computadora.

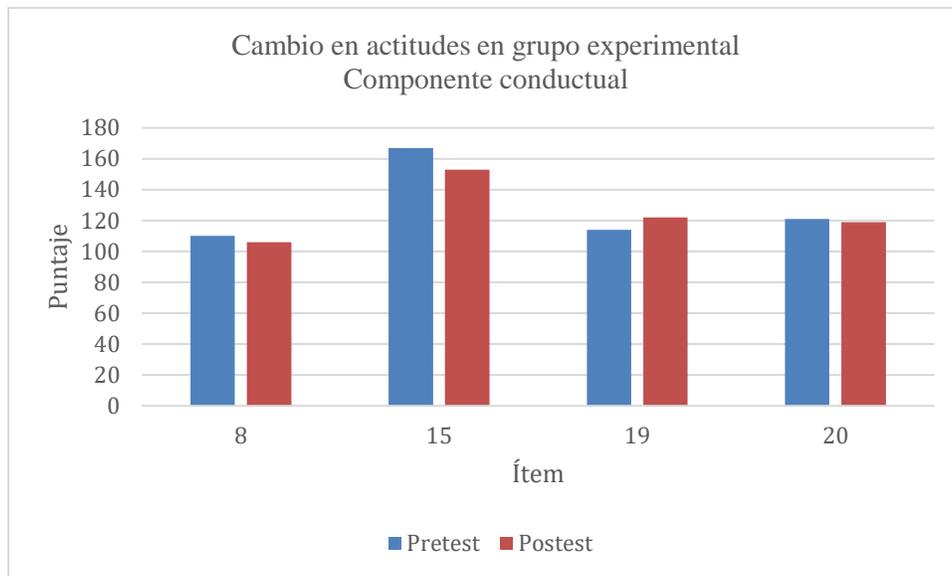


Figura 31: Cambio actitudinal. Componente conductual. Grupo experimental

El componente conductual (también llamado intencional), se refiere a las intenciones, tendencias, disposiciones y acciones hacia las matemáticas. Nos dice la tendencia hacia un tipo de comportamiento del estudiante ante el cálculo. En la figura 31 se muestra el cambio obtenido en las actitudes referente al componente conductual. Este componente fue en el que se mostró mayor cambio porcentual negativo. El 75% de los estudiantes mostraron un decremento en la actitud en lo referente a este componente. Los ítems y sus correspondientes porcentajes de cambio se pueden ver en la tabla 18.

Tabla 18: *Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente conductual. Grupo experimental.*

Ítem	%
8. Me gustaría usar el cálculo cuando ya vaya a trabajar	-4%
15. Me pongo nervioso al usar la computadora	-9%
19. Si fuera profesor de cálculo enseñaría con computadora	7%
20. Comento las actividades de cálculo con mis compañeros	-2%

5.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LAS ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO

Las actitudes hacia el cálculo se determinan con los ítems 1 a 8, 10, 11, y 20. Las hipótesis por probar son las siguientes:

H_0 =No hay diferencia significativa en las medias de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.

H_1 : Hay diferencia significativa en las medias de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.

El valor de significancia es $\alpha=5\%$

Para la elección apropiada de la prueba de hipótesis se consideró que al mismo grupo se le aplicaron dos medidas en momentos diferentes de tiempo, actitud inicial y actitud final. Es decir, es un estudio longitudinal. La variable fija nos arroja dos medidas (inicial y final) y la variable de comparación (actitud hacia el cálculo) es una variable numérica. Por lo tanto, la prueba adecuada para probar las hipótesis es la prueba T de Student para muestras relacionadas.

Para garantizar el éxito de la prueba, se deben cumplir los supuestos de normalidad de los datos. Para ello se efectuó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk debido a que el tamaño de la muestra ($N=35$) es menor a 50 datos. Los resultados de la prueba de normalidad se obtuvieron con el software SPSS y se muestran en la tabla 19. Las hipótesis para comprobar la normalidad de los datos son las siguientes:

H_0 =Los datos no se ajustan a una distribución normal.

H_1 : Los datos se ajustan a una distribución normal.

Tabla 19. *Prueba de normalidad Shapiro-Wilk Actitud hacia el cálculo.*

	Estadístico	gl	p-valor
Actitud hacia el cálculo inicial	0.976	35	0.616
Actitud hacia el cálculo final	0.979	35	0.742

Como se puede observar en la tabla 19, tanto en la medición inicial como en la final, los valores de p son mayores a $p=0.05$ por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula. Concluimos que los datos siguen una distribución normal y por lo tanto es factible el empleo de una prueba paramétrica como la prueba T. Los estadísticos descriptivos de la actitud hacia el cálculo inicial y final se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. *Estadísticos de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.*

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Actitud hacia el cálculo inicial	34.7714	35	8.24295	1.39331
Actitud hacia el cálculo final	34.2000	35	9.09040	1.53656

Tras aplicar la prueba t con el uso del software estadístico SPSS se obtuvieron los resultados de las actitudes hacia el cálculo mostrados en la tabla 21.

Tabla 21. *Resultado de la prueba T para muestras relacionadas. Actitud hacia el cálculo.*

	t	gl	Sig. (bilateral)
Actitud hacia el cálculo inicial - Actitud hacia el cálculo final	0.888	34	0.381

El valor p obtenido fue $\alpha=0.381$ el cual es mayor a 0.05. Por lo tanto, no hay evidencia empírica para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que no hay evidencia significativa de que el tratamiento haya influido en las actitudes hacia el cálculo en los estudiantes.

5.4 PRUEBAS PARAMÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO APRENDIDO CON COMPUTADORA

Por otro lado se aplicó la prueba t a las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora con los ítems 9, 12 a 19 y 21.

Las hipótesis por probar son las mismas que en el punto anterior:

H_0 =No hay diferencia significativa en las medias de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.

H_1 : Hay diferencia significativa en las medias de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.

El valor de significancia nuevamente fue $\alpha=5\%$

Los estadísticos descriptivos de las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. *Estadísticas de muestras emparejadas. Actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.*

			Desv.	Desv. Error
		Media N	Desviación	promedio
Par 2	Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora inicial	35.34 35	6.97029	1.17819
	Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora final	35.68 35	7.18975	1.21529

Los resultados de la prueba de hipótesis para las actitudes aprendidas con computadora se obtuvieron también con el software estadístico SPSS y se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. *Resultado de la prueba T para muestras relacionadas. Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora.*

Par 2	t	gl	Sig. (bilateral)
Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora inicial - Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora final	-0.387	34	0.701

Como puede observarse en la tabla 23, el valor p obtenido para las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora fue $p=0.701$ el cual es mayor a 0.05. Por lo tanto, tampoco hay evidencia empírica que permita rechazar la hipótesis nula. Esto significa que tampoco hay evidencia significativa de que el tratamiento haya influido en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.

5.5 CORRELACIÓN ENTRE LA COMPRENSIÓN DE LA DERIVADA Y LAS ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO

Para el análisis de correlación de Pearson se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 =No existe correlación positiva entre la variable *comprensión de la derivada* y *actitud hacia el cálculo*. Es decir, a mayor comprensión, mayor actitud.

H_1 : Hay correlación entre la variable *comprensión de la derivada* y *actitud hacia el cálculo*.

Valor de significancia $\alpha=5\%$

La prueba de hipótesis utilizada fue un análisis de Correlación bivariado en el software SPSS.

Los resultados se muestran en la tabla 24.

Tabla 24. *Correlación de Pearson. Comprensión Vs. Actitudes.*

		Comp. de la Derivada	Actitudes hacia el cálculo
Comprensión de la Derivada	Correlación de Pearson	1	0.038
	Sig. (bilateral)		0.755
	N	70	70
Actitudes hacia el cálculo	Correlación de Pearson	0.038	1
	Sig. (bilateral)	0.755	
	N	70	71

Como se puede observar, no hay evidencia estadística significativa ($p=0.755>0.05$) para afirmar que existe correlación entre las variables comprensión de la derivada y actitudes hacia el cálculo. Atendiendo al índice R de Pearson (0.038), podemos ver que la correlación entre las variables es muy pequeña.

5.6 DISCUSIÓN

El objetivo general de esta investigación fue evaluar el cambio en la comprensión del concepto de derivada en estudiantes de una universidad privada de Puebla mediante el uso didáctico de un sistema tutor adaptativo en línea. En relación con dicho objetivo, se encontró que **el uso del sistema tutor WebAssign influyó positivamente en la comprensión de la derivada** cumpliéndose la primera hipótesis de este trabajo de tesis. Este hallazgo es importante, pues comprueba la efectividad del aprendizaje adaptativo en la enseñanza del cálculo, el cual requiere de las tecnologías modernas que permiten retroalimentar de manera inmediata a los alumnos durante las actividades realizadas en línea dentro de entornos de

aprendizaje apoyados por la tecnología (Howard et al., 2006). Con este resultado, coincidimos con Churchill (2005) en que “la tecnología amplifica nuestra capacidad intelectual y física”, y en este contexto, la tecnología toma un papel fundamental en el apoyo al aprendizaje complejo. Así mismo, coincidimos con Cuevas-Vallejo y Pluvinage (2009), en que el uso del sistema tutorial inteligente influyó en la comprensión de un concepto de cálculo. De manera similar, los resultados hallados coinciden con Yilmaz (2017), quien encontró que el uso del tutor adaptativo en línea ALEKS tuvo efectos positivos en el rendimiento matemático de los estudiantes. Dos diferencias que resaltan con el trabajo de Yilmaz es que su trabajo se dirigió a estudiantes de niveles K-12 y que no se enfocó en un tema en particular, sino en las matemáticas en general.

Los alumnos del grupo experimental, que accedieron a un entorno multimedia suministrado por el profesor de manera semipresencial presentaron un rendimiento significativamente mayor que el obtenido mediante la enseñanza en el aula de clases únicamente presenciales. Además de que en las pruebas de hipótesis arrojaron diferencias estadísticamente significativas en el grupo experimental, se comprobó también con el cálculo de la d de Cohen que el efecto del tratamiento fue grande.

Nuestros resultados coinciden también, aunque de manera parcial, con Oktaviyanthi y Supriani (2015), Arroyo et al. (2014), Nusir et al., 2013, Karakis et al., 2016 y Smith y Suzuki (2015) en el hecho de que el uso pedagógico de un STAL mejoró el rendimiento académico de los alumnos, pero no coincidimos con estos autores en que las actitudes hacia el cálculo se hayan visto afectadas por el uso de la computadora.

Con estos resultados podemos afirmar que el uso de un tutor adaptativo en línea favorece la comprensión de la derivada como razón de cambio en alumnos universitarios de la universidad estudiada.

Así mismo, puede inferirse el progreso de los alumnos según la teoría cognitiva multimedia (Mayer, 2019), ya que como se mencionó en el capítulo 3, el alumno tiene un papel activo, es responsable de su aprendizaje y aprende mejor al utilizar diferentes medios tales como videos, texto, imágenes, audio, animaciones, etc.

Dentro de esta misma primera parte de la investigación se planteó el objetivo específico *Elaborar un instrumento para evaluar la comprensión del concepto de derivada como razón de cambio en un curso de cálculo*. Al respecto se puede afirmar el cumplimiento de este objetivo. Como se puede ver en el apéndice B, se diseñó una prueba estandarizada para la medición del aprendizaje de la derivada la cual se sometió a una prueba de validez por jueceo de expertos (apéndice C). La elaboración de este instrumento estuvo basado en el trabajo de Orton, (1983) y en la experiencia del autor.

Por otro lado, se plantearon dos objetivos para el análisis de la segunda y tercera variables dependientes: actitudes hacia el cálculo y actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora. El primer objetivo particular fue *adaptar una escala para la medición de actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora*. Para lograr el cumplimiento de este objetivo, se revisaron y compararon los trabajos de Aiken, (1974), Fennema y Sherman, (1976), Auzmendi, (1992), Galbraith y Haines, (2000), Fogarty et al., (2001), Ursini, Sánchez, y Orendain, (2004), Pierce et al., (2007), Sánchez y Ursini, (2010), Lemus y Ursini, (2016) Fabian et al., (2016), y Fabian et al., (2018). Después de la revisión de los trabajos antes mencionados se optó por hacer modificaciones a la escala de Ursini et al., (2004) porque fue la que mejor se ajustaba a los propósitos de esta investigación.

El siguiente objetivo planteado fue *analizar el cambio en las actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora en alumnos que han utilizado un sistema tutor adaptativo en línea*. El análisis descriptivo mostró cambios tanto positivos como negativos en las actitudes.

Sin embargo, al aplicar la prueba t (tablas 21 y 23) pudimos observar que no hay evidencia estadística para afirmar que los cambios en las actitudes se hayan debido al tratamiento. La instrucción con tecnología no tuvo un efecto directo en la actitud hacia el cálculo pero sí lo tuvo en el proceso de enseñanza y aprendizaje. A pesar de no haber encontrado significatividad en la prueba t, se encontró información interesante en el análisis de las actitudes por componente, observándose que los componentes afectivo y cognitivo mostraron cambios positivos, pero el componente conductual mostró decremento.

El último objetivo planteado fue *analizar la correlación entre la comprensión del concepto de derivada y las actitudes hacia el cálculo*. Como se mostró en este mismo capítulo, no se observó correlación entre las variables dependientes. Una teoría que puede explicar estos resultados es el concepto de autoeficacia. La autoeficacia son las creencias de la persona en su propia capacidad para organizar y ejecutar los cursos de acción necesarios para producir ciertos logros (Martínez, 2018). Dentro de las causas de la autoeficacia se encuentran: la experiencia previa en el dominio o logro de ejecución, por ejemplo, un examen. Si el individuo ha tenido éxito en exámenes previos semejantes, es posible que su autoeficacia se vea afectada positivamente. La experiencia vicaria. Se refiere a la experiencia de alguien más. Por ejemplo, en el examen. Si una persona ve que a otro compañero le ha ido bien en exámenes previos, su autoeficacia se verá afectada positivamente. Si sucede lo contrario, es decir, que el individuo observa que al compañero le ha ido mal, su autoeficacia se afectará negativamente. La persuasión social o verbal. Si a un individuo se le dice, por ejemplo, tú puedes, te va a ir bien, es probable que su autoeficacia aumente y se sienta más capacitado de tener éxito en la tarea. Comprensiblemente, el desalentar al estudiante produce efectos negativos en la autoeficacia. Los estados psicológicos y emocionales. Si la persona se siente alegre se incrementará su autoeficacia, y por el contrario, si se siente triste o decaída, su

autoeficacia disminuirá. Estas causas repercuten indudablemente en los efectos. Dentro de dichos efectos se encuentran la elección de conductas, actividades o tareas, el esfuerzo y grado de persistencia, patrones de pensamiento y reacciones emocionales.

Otros factores que pueden contribuir a la enseñanza y el aprendizaje del cálculo con tecnología son las características del alumno. El rendimiento, el comportamiento y la actitud de los estudiantes hacia el cálculo y hacia la tecnología pueden depender de su género, nivel de grado, nivel de habilidad y nivel socioeconómico. Estos factores abren opciones para futuras investigaciones. Algunos otros factores que no dependen del estudiante son los enfoques, materiales y actividades que utilice el profesor. Por ejemplo, el uso de entornos reales, escenarios, contextos o el uso de tecnología móvil.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN

En este trabajo de tesis se evaluó el efecto del uso didáctico de un sistema tutor adaptativo en línea (STAL) en la comprensión del concepto de derivada y en las actitudes hacia el cálculo diferencial con y sin el uso de una computadora en estudiantes de primer semestre de una universidad privada en el estado de Puebla. En este último capítulo se presentan, en torno a los objetivos e hipótesis de la investigación, los hallazgos más relevantes, algunas de sus posibles causas y sugerencias que puedan servir de base para trabajos semejantes y los trabajos publicados que se han derivado de esta investigación. Finalmente se presentan los trabajos futuros con los que se proseguirá como investigador.

6.1 PRINCIPALES HALLAZGOS

A partir de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Mayer, 1997), se llevó a cabo una investigación en la que se pudo verificar que el uso de un STAL influyó en la comprensión del concepto de derivada. Los resultados de la investigación mostraron un efecto positivo en la comprensión de la derivada en el grupo experimental, lo cual quedó evidenciado por los mejores puntajes obtenidos por el grupo experimental en comparación con los del grupo de control, el análisis descriptivo y las pruebas de hipótesis. Sin embargo, a pesar de que la prueba de hipótesis corrobora el hecho de que el uso del STAL afectó la comprensión de la derivada, este tipo de pruebas únicamente nos informa que la diferencia de medias no es igual a cero, es decir que existe alguna diferencia. Pero no sabemos qué tan importante es esa diferencia. Para eso se calculó el tamaño del efecto. Los resultados obtenidos para la d de Cohen y el índice r de correlación comprobaron que el tratamiento en la variable dependiente tuvo un efecto muy grande.

Otro hallazgo interesante fue el hecho de que el uso del STAL no influyó en las actitudes de los alumnos hacia el cálculo ni hacia el cálculo aprendido con computadora. Sin embargo, valió mucho la pena el análisis de los cambios actitudinales por componente. Se observaron cambios en los componentes cognitivo y conductual, pero en donde se presentaron con mayor notoriedad fue en el componente afectivo. En la mayoría de las investigaciones es muy ansiado llegar a la conclusión de que la hipótesis nula ha sido rechazada y así poder probar la hipótesis de investigación. Cuando esto no ocurre, resulta valioso hacer un análisis de los resultados e indagar si existen variables que no fueron consideradas en el diseño de la investigación y que pueden estar incidiendo en los resultados tales como el contexto en el que se aplicó el estudio, los conocimientos previos de los alumnos, la disposición de los alumnos para responder preguntas, el nivel de compromiso, conocimientos pedagógicos y estilo de enseñanza de los profesores, las actitudes de los propios profesores hacia la materia, la autoeficacia (explicada en el capítulo anterior), entre otras.

Finalmente, otra conclusión importante fue que no se encontró una correlación sólida entre las actitudes hacia el cálculo y la comprensión de la derivada (tercera hipótesis de trabajo). Alumnos con actitud negativa obtuvieron resultados altos y otros con actitudes positivas no lograron buenos resultados. Esto se confirmó también por medio de la prueba estadística de correlación de Pearson.

Podemos afirmar que los estudiantes que participaron en el estudio, en general, tienen una percepción de que el cálculo es difícil, aunque aprecian su utilidad; lo cual es una contradicción interesante. Es preciso aclarar que estos resultados no pueden ser generalizados a cualquier universo. Por las características del estudio se entiende que existen limitaciones y que se pueden aplicar solamente a la población estudiada o a una muestra con características muy similares. A pesar del hecho de que no hayan sido comprobadas las últimas dos hipótesis

de investigación, esto, apoya conclusiones de autores como Khan, (2018), quien tras una exhaustiva revisión de literatura encontró que aún no hay conclusiones contundentes a este respecto. Algunas de las causas que encontró Khan para la diferencia en los resultados del tratamiento fueron la cantidad de tiempo que cada alumno dedicó al uso de la herramienta tecnológica, el gran número de ejemplos y práctica, así como el hecho de que contaban con algunas soluciones paso a paso (worked examples). Esto podría deberse a su vez a que el STAL ayuda a mejorar sus habilidades organizativas y provee de un número mayor de ejemplos y práctica. Algunos otros factores que pueden incidir en los resultados y valdría la pena analizar en futuros trabajos son el género de los estudiantes, su nivel socioeconómico, el tipo de recursos tecnológicos con los que cuentan, la pericia y entusiasmo del profesor, entre otros. Respecto a las actitudes, algunos factores que se pueden estudiar también son el historial de cada alumno respecto al cálculo y a las matemáticas en general, sus expectativas dentro de su carrera profesional, la influencia recibida en sus respectivas casas, el nivel educativo de sus padres, entre otros.

6.2 RECOMENDACIONES

El proceso de enseñanza aprendizaje del cálculo no es tarea sencilla en un ambiente presencial ni en uno virtual. En los últimos meses nos hemos visto inmersos en la difícil situación que ha impuesto el confinamiento por la pandemia causada por el Covid-19. Sin embargo, esto ha dado pie a la necesidad de reinventar nuestra labor docente y a aprovechar al máximo los recursos tecnológicos a nuestro alcance. El aprendizaje híbrido y a distancia definitivamente llegó para quedarse. Por lo que debe renovarse el diseño de los contenidos en un ambiente de formación e-learning en donde no se provea únicamente una transmisión de ideas, sino que se promueva la interacción del estudiante con los contenidos, los

compañeros del curso y el docente. Será entonces de suma importancia la planeación en el desarrollo de contenidos digitales, tener en cuenta los contenidos curriculares, la vigencia de los materiales y la interacción que permita un uso presencial o asincrónico. Así mismo, deberá rediseñarse la evaluación de los cursos, pues el uso de la computadora puede seducir a los alumnos a hacer trampa. Debemos enfocar más la evaluación en aplicaciones que en mecanización de operaciones. Analizar casos concretos, resolver problemas dentro de un contexto, socializar los procedimientos y las posibles respuestas, etc. Finalmente, será necesaria una constante capacitación por parte del docente. Debemos estar actualizados en el desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje, software de apoyo, aplicaciones, uso de redes sociales y en general todo el material multimedia del que podamos echar mano.

6.3 TRABAJOS PUBLICADOS.

Como resultado de este trabajo de investigación se han publicado dos artículos; uno de investigación y otro de divulgación. El primer artículo tiene como título *El rendimiento académico y las actitudes hacia las matemáticas con un sistema tutor adaptativo*, con la coautoría de los asesores de tesis. Este trabajo se encuentra publicado en la revista PNA-Revista de Investigación en Didáctica de la Matemática (revista clasificada como Q4 en Scopus) de la universidad de granada, España. Los datos de localización son: PNA, ISSN-e 1887-3987, Vol. 14, Nº. 4, 2020, págs. 271-294. La bibliografía es la siguiente:

Rocha, G., Juárez, J. A., Fuchs, O. L. y Rebolledo-Méndez, G. (2020). El rendimiento académico y las actitudes hacia las matemáticas con un Sistema Tutor Adaptativo. *PNA*, 14(4), 271-294.

El artículo de divulgación tiene como título *Importancia del estudio de las actitudes para el aprendizaje de las matemáticas*. Este artículo ha sido publicado por la revista RD-ICUAP..

Esta revista está indexada en Latindex y cuenta con reconocimiento por parte del CONACYT. La referencia de esta publicación es la siguiente:

Rocha Feregrino, G., Juárez López, J. A., & Fuchs Gómez, O. L. (2021). Importancia del estudio de las actitudes para el aprendizaje de las matemáticas. *RD-ICUAP*, 7(19), 148-157.

Recuperado a partir de <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/511>

6.4 PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

Además de los artículos mencionados, se ha presentado parte del trabajo de investigación en congresos internacionales. El primero fue en julio de 2018 en el congreso RELME-32 (XXXII Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa) en la ciudad de Medellín, Colombia. El título del trabajo ahí presentado como ponencia fue *La importancia de las actitudes hacia las matemáticas y hacia las matemáticas aprendidas con tecnología: un estado del arte*. El segundo trabajo con el que participamos en un congreso internacional fue en 2019 en el PME-NA (The North American chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education) con el poster titulado *Academic performance and attitudes towards mathematics with an adaptive hypermedia system*. Finalmente, participamos en septiembre del 2020 en el VII Congreso Internacional de Matemáticas y sus Aplicaciones (7-CIMA) organizado por la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP con el trabajo *El rendimiento académico y las actitudes hacia las matemáticas con un sistema tutor adaptativo*.

6.5 TRABAJOS FUTUROS

Dentro de las líneas de investigación del DSAE el autor se interesa en la de Modelos de ambientes educativos. En particular en proyectos de innovación, adaptación e integración de

sistemas tecnológicos que puedan utilizarse para la enseñanza aprendizaje del cálculo diferencial e integral así como en la investigación del aprendizaje de las matemáticas en ambientes virtuales. El próximo proyecto de investigación será precisamente sobre el aprendizaje del cálculo en línea en época del Covid-19.

REFERENCIAS

- Agudelo, M. (2009). Importancia del diseño instruccional en ambientes virtuales de aprendizaje. *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, 5, 118–127.
<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/icbf/course/view.p>
- Aiken, L. R. (1970). Attitudes toward Mathematics. *Review of Educational Research*, 40, 551–596.
- Aiken, L. R. (1974). Two Scales of Attitude toward Mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 5, 67–71.
- Al-Emran, M., Elsherif, H. M., y Shaalan, K. (2016). Investigating attitudes towards the use of mobile learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 56(December 2015), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.033>
- Allport, G. W. (1935). Attitudes. *A Handbook of Social Psychology*, 798–844.
- Andrade-Lotero, L. A. (2012). Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte. *Revista Internacional de Investigación en Educación*, 5(10), 75–92.
- Arroyo, I., Park Woolf, B., Burelson, W., Muldner, K., Rai, D., Tai, M., Arroyo, I., Woolf, B. P., Burelson, W., Muldner, K., Rai, D., y Tai, M. (2014). A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect. *J Artif Intell Educ*, 24, 387–426. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y>
- Artigue, M., Douady, R., y Moreno, L. (1995). La enseñanza de los principios del cálculo: problemas epistemológicos, cognitivos y didácticos. En P. Gómez (Ed.), *Ingeniería didáctica en educación matemática* (pp. 97–140). Grupo Editorial Iberoamérica.
- Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. En *Scientists Making a Difference: One Hundred Eminent Behavioral and*

- Brain Scientists Talk about their Most Important Contributions* (Vol. 2, pp. 115–118).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781316422250.025>
- Auzmendi, E. (1992). Medición de las actitudes hacia las matemáticas. En *Las Actitudes hacia la Matemática-Estadística de las Enseñanzas Medias y Universitaria: Características y Medición* (pp. 59–119). Mensajero.
- Baddeley, A. D. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences.*, 302(1110), 311–324.
<http://tecfaetu.unige.ch/perso/mal/tt/carlei0/Fichiers/Baddeley1983.pdf>
- Barkatsas, A., y Malone, J. (2005). A typology of mathematics teachers' beliefs about teaching and learning mathematics and instructional practices. *Mathematics Education Research Journal*, 17, 69–90. <https://doi.org/10.1007/BF03217416>
- Beal, C. R., Walles, R., Arroyo, I., y Woolf, B. P. (2007). On-line Tutoring for Math Achievement Testing: A Controlled Evaluation. *Journal of Interactive Online Learning*, 6(1), 43–55. <https://www.researchgate.net/publication/252301327>
- Belloch, C. (2013). *Diseño Instruccional*.
<https://www.uv.es/~bellochc/pedagogia/EVA4.pdf>
- Bingolbali, E., y Monaghan, J. (2004). Identity, knowledge and departmental practices: mathematics of engineers and mathematicians. *28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 127–134.
- Bray, A., y Tangney, B. (2016). Enhancing student engagement through the affordances of mobile technology: a 21st century learning perspective on Realistic Mathematics Education. *Mathematics Education Research Journal*;, 28(1), 173–197.
<https://doi.org/10.1007/s13394-015-0158-7>
- Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Brooks, D. C., Grajek, S., Bali, M., Bulger, S., Dark,

- S., Engelbert, N., Gannon, K., Gauthier, A., Gibson, D., Gibson, R., Lundin, B., Veletsianos, G., y Weber, N. (2020). 2020 EDUCAUSE Horizon Report. Teaching and Learning Edition. En *Educause*. <https://www.educause.edu/horizon-report-2020>
- Buendía, G., y Ordóñez, A. (2009). Periodic behavior in the relationship between a function and its derivatives: meanings from variation. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa Recepción: Septiembre, 12*, 7–28.
- Cafarella, B. V. (2014). Exploring Best Practices in Developmental Mathematics. *Research & Teaching in Developmental Education, 30*, 35–64.
- Cantoral, R., y Farfán, R. M. (2004). *Desarrollo conceptual del cálculo* (J. T. Pérez (ed.)). Thomson Learning. <http://www.thomsonlearning.com.mx>
- Cárdenas-Robledo, L. A., y Peña-Ayala, A. (2018). Ubiquitous learning: A systematic review. *Telematics and Informatics, 35*, 1097–1132. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.01.009>
- Casazza, M. E., y Silverman, S. L. (1996). *Learning Assistance and Developmental Education: A Guide for Effective Practice. The Jossey-Bass Higher and Adult Education Series*. Jossey-Bass.
- Cataldi, Z., y Lage, F. J. (2009). Sistemas tutores inteligentes orientados a la enseñanza para la comprensión. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 28*, a108. <https://doi.org/10.21556/edutec.2009.28.456>
- CENGAGE. (s/f). *Webassign en español, ventajas y características - Cengage*. Recuperado el 22 de febrero de 2021, de <https://latinoamerica.cengage.com/plataformas/webassign/>
- Ceyca, J. O. (2004). Desarrollo de un Módulo de Planificación Adaptativa de Enseñanza para un Sistema Tutor. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, 197*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19057>

- Chen, O., Kalyuga, S., y Sweller, J. (2015). The worked example effect, the generation effect, and element interactivity. *Journal of Educational Psychology*, *107*(3), 689.
- Chiu, T. K. F., Mok, I. A. C., y Thomas K.F. Chiu, I. A. C. M. (2017). Learner expertise and mathematics different order thinking skills in multimedia learning. *Computers & Education*, *107*, 147–164. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.01.008>
- Churchill, D. (2005). Learning objects: an interactive representation and a mediating tool in a learning activity. *Educational Media International*, *42*(4), 333–349. <https://doi.org/10.1080/09523980500237757>
- Clark, J., y Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, *3*(3), 149–210. <https://doi.org/10.1007/BF01320076>
- Clark, R., Kirschner, P., y Sweller, J. (2012). Putting Students on the Path to Learning: The Case for Fully Guided Instruction. *American educator*, 6–11.
- Cohen, J. (2013). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. En *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Corral, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista Ciencias de la Educación*, *19*(33), 228–247.
- Cretchley, P. C., y Galbraith, P. (2002). Mathematics or computers? Confidence or motivation? How do these relate to achievement? *Proceedings of the 2nd International Conference on the Teaching of Mathematics at the Undergraduate Level*.
- Cretchley, P., y Harman, C. (2001). Balancing the scales of confidence: computers in early undergraduate mathematics learning. *journal of the South African Mathematical Society : Tydskrif van die Suid-Afrikaanse Wiskundevereniging.*, 17–25.
- Cueli, M., González-Castro, P., Krawec, J., Núñez, J. C., y González-Pienda, J. A. (2016). Hipatia: a hypermedia learning environment in mathematics. *anales de psicología*,

- 32(1), 98–105. <https://doi.org/10.6018/analesps.32.1.185641>
- Cuevas-Vallejo, A., y Pluvinage, F. (2009). Cálculo y Tecnología. *El cálculo y su enseñanza*, April, 49–59. <https://www.researchgate.net/publication/267775571>
- Cuevas, C., y Martínez, M. (2008). Calcvisual un modelo alternativo de Entorno Tutorial Inteligente (ETI) para la enseñanza de las matemáticas. *CISCI 2008 - Séptima Conferencia Iberoamericana en Sistema, Cibernética e Informática 5to SIECI 2008, 3er Symposium Internacional en Comunicación del Conocimiento y Conferencias, CCC 2008 - Memorias*, 2, 106–112.
- Curri, E. (2012). *Using Computer Technology in Teaching and Learning Mathematics in an Albanian Upper Secondary School The Implementation of SimReal in Trigonometry Lessons*.
- Daza, G., y Garza, B. (2018). Actitudes hacia el Cálculo Diferencial e Integral: Caracterización de Estudiantes Mexicanos del Nivel Medio Superior. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 32(60), 279–302. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v32n60a14>
- De Guzmán, M. (2001). Tendencias actuales de la Educación Matemática. En *Septiembre*. <http://www.mdeguzman.net>
- De Guzmán, M. (2007). Enseñanza de las ciencias y la matemática. *Revista iberoamericana de educación*, 43, 19–58. <http://www.redalyc.org/pdf/800/80004304.pdf>
- De Witte, K., Haelermans, C., y Rogge, N. (2015). The effectiveness of a computer-assisted math learning program. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(4), 314–329. <https://doi.org/10.1111/jcal.12090>
- Descartes, R. E. D. (2012). *Red Educativa Digital Descartes*. <https://proyectodescartes.org/descartescms/red-descartes>

- Di Martino, P., y Gregorio, F. (2017). The role of affect in failure in mathematics at the university level: the tertiary crisis. *Cerme 10*, 1050–1057. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01936027/>
- Di Martino, P., y Zan, R. (2011). Attitude towards mathematics: a bridge between beliefs and emotions. *ZDM Mathematics Education*, 43, 471–482. <https://doi.org/10.1007/s11858-011-0309-6>
- Di Martino, P., y Zan, R. (2014). *Students' attitude in mathematics education*. In: Lerman S. (eds) *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer, Dordrecht. 572–577.
- Elçi, A. N. (2017). Students' attitudes towards mathematics and the impacts of mathematics teachers approaches on it. *Acta Didactica Napocensia*, 10, 99–108.
- Faber, J. M., Luyten, H., y Visscher, A. (2017). The effects of a digital formative assessment tool on mathematics achievement and student motivation: Results of a randomized experiment. *Computers & Education*, 106, 83–96.
- Fabian, K., Topping, K. J., y Barron, I. G. (2016). Mobile technology and mathematics: effects on students' attitudes, engagement, and achievement. *Journal of Computers in Education*, 3, 77–104.
- Fabian, K., Topping, K. J., y Barron, I. G. (2018). Using mobile technologies for mathematics: effects on student attitudes and achievement. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1119–1139. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9580-3>
- Fennema, E., y Sherman, J. (1976). Fennema-Sherman Mathematics Attitudes Scales : Instruments Designed to Measure Attitudes toward the Learning of Mathematics by Females and Males Authors (s): Elizabeth Fennema and Julia A . Sherman Source : Journal for Research in Mathematics Education. *Journal for Research in Mathematics*

Education, 7(5), 324–326.

Fogarty, G. J., Cretchley, P., Harman, C., Ellerton, N., y Konki, N. (2001). Validation of a Questionnaire to Measure Mathematics Confidence , Computer Confidence , and Attitudes to the Use of Technology for Learning Mathematics Research Design and Methodology. *Mathematics Education Research Journal*, 13(2), 154–160. <https://doi.org/10.1007/BF03217104>

Fonseca, J. R. S. (2012). Students' Attitudes Toward Math Learning. En N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 3214–3219). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1078 LB - Fonseca2012

Forgasz, H. J. (1995). Gender and the relationship between affective beliefs and perceptions of grade 7 mathematics classroom learning environments. *Educational Studies in Mathematics*, 28, 219–239.

Freedman, R., Ali, S. S., y Mcroy, S. (2000). What is an intelligent tutoring system? *Intelligence*, 11(13), 15–16. <https://doi.org/10.1145/350752.350756>

The Construct of Attitude in Mathematics Education, (2015).

Fuentealba, C., Badillo, E., y Sánchez-Matamoros, G. (2018). The non-derivability points of a function and their importance in the understanding of the derivative concept. *Educacao e Pesquisa*, 44(1). <https://doi.org/10.1590/S1678-4634201844181974>

Galbraith, P., y Haines, C. (1998). Disentangling the nexus: Attitudes to mathematics and technology in a computer learning environment. *Educational Studies in Mathematics*, 36(3), 275–290. <https://doi.org/10.1023/A:1003198120666>

Galbraith, P., y Haines, C. (2000). Mathematics-Computing Attitude Scales. *Monographs in Continuing Education*, 1–38.

Gallego-Lema, V., Muñoz-cristóbal, J. A., Arribas-cubero, H. F., y Rubia-avi, B. (2017). La

- orientación en el medio natural : aprendizaje ubicuo mediante el uso de tecnología. *Movimento*, 23, 755–770.
- García Retana, J. Á. (2013). La problemática de la enseñanza y el aprendizaje del cálculo para ingeniería. *Revista Educación*, 37(1), 29–42.
- Gerjets, P., Scheiter, K., Opfermann, M., Hesse, F. W., y Eysink, T. H. S. (2009). Learning with hypermedia: The influence of representational formats and different levels of learner control on performance and learning behavior. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 360–370. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.015>
- Gómez-Chacón. (2000). *Matemática emocional. Los afectos en el aprendizaje matemático* (Narcea (ed.)).
- Gómez-Chacón, Inés Ma. (2010). Actitudes de los estudiantes en el Aprendizaje de la matemática con tecnología. *Enseñanza de las ciencias*, 28, 227–244.
- Gómez-Chacón, Inés María. (2002). Afecto y aprendizaje matemático: causas y consecuencias de la interacción emocional. En J. Carrillo (Ed.), *Reflexiones sobre el pasado, presente y futuro de las Matemáticas*. (pp. 197–227).
- Gómez-Chacón, Inés María. (2010). Tendencias actuales en investigación en matemáticas y afecto. En M. M. Moreno, A. Estrada, J. Carrillo, y T. A. Sierra (Eds.), *Investigación en educación matemática XIV* (pp. 121–140). SEIEM. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3629171.pdf>
- González, C., Burguillo, J., Llamas, M., y Vidal, J. (2010). Sistemas tutores inteligentes: propuesta de una arquitectura para aprendizaje en salud pública. *VII Congreso Iberoamericano de Informática Educativa*, 1236–1245. https://www.researchgate.net/publication/302477182_SISTEMAS_TUTORES_INTELIGENTES_COMO_APOYO_EN_EL_PROCESO_DE_APRENDIZAJE

- González, J. L., y Ortiz, A. (2000). La investigación en educación matemática en la Universidad de Málaga. Estructura y fundamentos. *Versión preliminar de ponencia invitada al IV Simposio SEIEM (Huelva 2000)*. http://www.ugr.es/local/seiem/IV_Simposio.htm, 131–146.
- Graff, M., Mayer, P., y Lebens, M. (2008). Evaluating a web based intelligent tutoring system for mathematics at German lower secondary schools. *Education and Information Technologies*, 13(3), 221–230. <https://doi.org/10.1007/s10639-008-9062-z>
- Hannula, M. S. (2002). Attitude towards mathematics: emotions, expectations and values. *Educational Studies in Mathematics*, 49, 25–46.
- Hannula, M. S., Di Martino, P., Pantziara, M., Zhang, Q., Morselli, F., Heyd-Metzuyanin, E., Lutovac, S., Kaasila, R., Middleton, J. A., Jansen, A., y Goldin, G. A. (2016). Attitudes, Beliefs, Motivation and Identity in Mathematics Education. En Hamburgo (Ed.), *ICME 13* (pp. 1–35). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32811-9>
- Hart, L. E. (1989). Classroom Processes, Sex of Student, and Confidence in Learning Mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20, 242–260.
- Hemmings, B., Grootenboer, P., y Kay, R. (2010). Predicting mathematics achievement: the influence of prior achievement and attitudes. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 691–705.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Mc Graw Hill (ed.); 6a ed., Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Holmegaard, H. T., Madsen, L. M., y Ulriksen, L. (2014). To Choose or Not to Choose Science: Constructions of desirable identities among young people considering a STEM higher education programme. *International Journal of Science Education*, 36, 186–215.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.749362>

Howard, L., Remenyi, Z., y Pap, G. (2006). Adaptive blended learning environments. En *9th International Conference on Engineering Education*.

İbili, E., y Şahin, S. (2015). Investigation of the effects on Computer Attitudes and Computer Self-Efficacy to use of Augmented Reality in Geometry Teaching. *Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 332–350. <https://doi.org/10.17522/nefefmed.84518>

Juárez, J. A. (2010). *Actitudes y rendimiento en matemáticas, el caso de telesecundaria*. Díaz de Santos.

Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., y Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579–588. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.579>

Karakis, H., Karamete, A., y Okcu, A. (2016). The Effects of a Computer-Assisted Teaching Material, Designed According to the ASSURE Instructional Design and the ARCS Model of Motivation, on Students' Achievement Levels in a Mathematics Lesson and Their Resulting Attitudes. *European Journal of Contemporary Education*, 15, 105–113. <https://doi.org/10.13187/ejced.2016.15.105>

Karjanto, N. (2017). Attitude toward mathematics among the students at Nazarbayev University Foundation Year Programme. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 48, 849–863. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2017.1285060>

Khan, B. R. (2018). The Effectiveness of Supplemental Instruction and Online Homework in First-Semester Calculus. En *ProQuest LLC*. <https://doi.org/10.7916/D8CN8MW4>

Lemus, M., y Ursini, S. (2016). Creencias y actitudes hacia las matemáticas. Un estudio con alumnos de bachillerato. *Investigación en Educación Matemática XX*, 1989, 315–323.

<http://funes.uniandes.edu.co/8875/1/Lemus2016Creencias.pdf>

Li, Q., y Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22, 215–243.

Lim-Teo, S. K., Ahuja, O. P., y Lee, P. Y. (2000). Attitude of junior college and tertiary students to calculus. *PRIMUS*, 10, 123–142.
<https://doi.org/10.1080/10511970008965953>

Lim, S. Y. (2010). Mathematics Attitudes and Achievement of Junior College Students in Singapore. *Mathematics Education Research Group of Australasia*, 681–689.
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED521019.pdf>
<http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED521019.pdf>

Ling Tsai, S., y Waeberg, H. J. (1983). Mathematics achievement and attitude productivity in junior high school. *Journal of Educational Research*, 76, 267–272.
<https://doi.org/10.1080/00220671.1983.10885464>

López, R., Castro, E., Molina, M., y Moreno, L. (2010). *Elaboración y validación de un cuestionario de actitudes hacia el uso de la tecnología para el aprendizaje de las matemáticas.*

Mae, S. (2015). *Teoría Cognitiva del Aprendizaje - Cómo Utilizar el Pensamiento para Aprender.* Explorable.com. <https://explorable.com/es/teoria-cognitiva-del-aprendizaje>

Mardones, J. M. (2007). *Filosofía de las ciencia humanas y sociales. Materiales para una fundamentación científica.* (Anthropos (ed.)).

Martínez, R. (2018). *PSYCAP: Autoeficacia. Programa para el fomento del capital psicológico.* <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/34223>

Matsumoto, D., y Sanders, M. (1988). Emotional Experiences During Engagement in Intrinsically and Extrinsically Motivated Tasks. *Motivation and Emotion*, 12.

- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, 1–19. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3201_1
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*.
- Mayer, R. E. (2019). What Do Teachers and Administrators Need to Know about Multimedia Learning Theory? En P. M. Jenlink (Ed.), *Multimedia Learning Theory: Preparing for the New Generation of Students* (p. 85). Rowman & Littlefield.
- Mayer, R. E., y Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- McLeod, D. B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. En *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575–596). <https://doi.org/New York>
- McLeod, D. B. (1994). Research on affect and mathematics learning in the JRME : 1970 to the present. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25, 637–647.
- McLeod, D. B., y Adams, V. M. (1989). Affect and mathematical problem solving : a new perspective. En *Springer-Verlag*.
- Moosavi, S. A. (2009). *A comparison of two computer-aided instruction methods with traditional instruction in freshmen college mathematics classes*. University of Alabama Libraries.
- Moreno Moreno, M. del M. (2005). El papel de la didáctica en la enseñanza del cálculo : evolución , estado actual y retos futuros. *Noveno Simposio de la Sociedad Española de Educación Matemática SEIEM*, 81–96. http://funes.uniandes.edu.co/1325/1/Gonzalez2005El_SEIEM_81.pdf
- Movrou, M. P., Varillas, W., Beltrán, C. A., y Núñez, F. E. (2016). Análisis factorial

- exploratorio. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de Lenguas*, 19, 368. <https://www.nebrija.com/revista-linguistica/analisis-factorial-exploratorio.html>
- Moyer, J. C., Robison, V., y Cai, J. (2018). Attitudes of high-school students taught using traditional and reform mathematics curricula in middle school: a retrospective analysis. *Educational Studies in Mathematics*, 98. <https://doi.org/10.1007/s10649-018-9809-4>
- Muthulakshmi, P., y Veliappan, A. (2016). *Effectiveness of an Interactive Multimedia Learning package in developing attitude towards mathematics*. 11, 40–47.
- Nicolaidou, M., y Philippou, G. (1997). Attitudes Towards Mathematics, Self-Efficacy and Achievement in Problem-Solving. *European Research in Mathematics Education Iii*, 1–11.
- Nusir, S., Alsmadi, I., Al-Kabi, M., y Sharadgah, F. (2013). Studying the impact of using multimedia interactive programs on children's ability to learn basic math skills. *E-Learning and Digital Media*, 10(3), 305–319. <https://doi.org/10.2304/elea.2013.10.3.305>
- OCDE. (2018). *Panorama de la educación 2016: Indicadores de la OCDE*. Fundación Santillana. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/eag-2016-es>
- Oktaviyanthi, R., y Supriani, Y. (2015). Utilizing Microsoft Mathematics in Teaching and Learning Calculus. *IndoMS-JME*, 6, 63–76.
- Orton, A. (1983). Student's Understanding of Differentiation. *Educational Studies in Mathematics*, 14, 235–250.
- Otero, A. (2014). *Modelo de aprendizaje móvil abierto para educación superior*. Universidad Veracruzana.
- Özyurt, Ö., Özyurt, H., Baki, A., y Güven, B. (2013). Integration into mathematics classrooms of an adaptive and intelligent individualized e-learning environment:

- Implementation and evaluation of UZWEBMAT. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 726–738. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.11.013>
- Pepin, B. (2011). Pupils' attitudes towards mathematics: a comparative study of Norwegian and English secondary students. *ZDM*, 43, 535–546. <https://doi.org/10.1007/s11858-011-0314-9>
- Pierce, R., Stacey, K., y Barkatsas, A. (2007). A scale for monitoring students' attitudes to learning mathematics with technology. *Computers and Education*, 48(2), 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.01.006>
- Pilli, O., y Aksu, M. (2013). The effects of computer-assisted instruction on the achievement, attitudes and retention of fourth grade mathematics students in North Cyprus. En *Computers & Education* (Vol. 62). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.010>
- Popper, K. R. (1989). La lógica en la investigación científica. En Tecnos (Ed.), *REI*. <https://doi.org/10.1016/j.acmx.2016.01.006>
- Prensky, M. (2010). Nativos e Inmigrantes Digitales. *Cuadrenos SEK 2.o*, 21. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10230/21226>
- Prezbolde, G. (2014). *Conoce las diferencias entre Millennials, GenX y Baby Boomers*. <https://www.merca20.com/conoce-las-diferencias-entre-millennials-genx-y-baby-boomers/>
- Reed, H. C., Drijvers, P., y Kirschner, P. A. (2010). Effects of Attitudes and Behaviours on Learning Mathematics with Computer Tools. *Computers & Education*, 55(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.11.012>
- Robles-Arredondo, M. G., Tellechea Armenta, E., y Font Moll, V. (2014). Una propuesta de acercamiento alternativo al teorema fundamental del cálculo. En *Educación matemática* (Vol. 26, Número 2).

- Rodríguez, M. R., Castillo, J. L. M., y Lira Campos, A. (2013). Diseño de un sistema tutorial inteligente. *Apertura*, 5(1), 36–47.
- Ruffell, M., Mason, J., y Allen, B. (1998). Studying attitude to mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 35, 1–18. <https://doi.org/10.2307/3482863>
- Salinas, P., y Alanís, J. A. (2009). Hacia un nuevo paradigma en la enseñanza del cálculo dentro de una institución. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 12(3), 355–382.
- Sánchez-Matamoros, G., García, M., y Llinares, S. (2008). La comprensión de la derivada como objeto de investigación en didáctica de la matemática. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 11, 267–296.
- Sánchez, J. G., y Ursini, S. (2010). Actitudes hacia las matemáticas y matemáticas con tecnología: estudios de género con estudiantes de secundaria. *Relime*, 13(4), 303–318.
- Santoyo, F., Rangel, M. Á., Santoyo, E., y Puga, K. L. (2016). Evaluación de una estrategia didáctica para la apropiación del concepto derivada de una función. *Investigación y el Desarrollo Educativo*, 7(13), 250–272. https://www.researchgate.net/publication/325089466_Evaluacion_de_una_estrategia_didactica_para_la_apropiacion_del_concepto_derivada_de_una_funcion
- Savelsbergh, E. R., Prins, G. T., Rietbergen, C., Fechner, S., Vaessen, B. E., Draijer, J. M., y Bakker, A. (2016). Effects of innovative science and mathematics teaching on student attitudes and achievement: A meta-analytic study. *Educational Research Review*, 19, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.07.003>
- Schoenfeld, A. H. (1983). Beyond the Purely Cognitive: Belief Systems, Social Cognitions, and Metacognitions As Driving Forces in Intellectual Performance. *Cognitive science*, 7(4), 329–363. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0704_3

- Schunk, D. H. (2012). Learning theories: An educational perspective. En *Reading* (Vol. 5).
<https://lccn.loc.gov/2018034999>
- Skjong, R., Wentworth, B. H., Norske, D., y Hovik, V. (2001). Expert Judgment and Risk Perception. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, 4(December), 537–544.
- Smith, J. G., y Suzuki, S. (2015). Embedded blended learning within an Algebra classroom: a multimedia capture experiment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(2), 133–147. <https://doi.org/10.1111/jcal.12083>
- Describing the Affective Domain: Saying What We Mean, (1989).
- Soriano, A. M. (2014). Diseño y validación de instrumentos de medición. *Diálogos*, 14, 19–40.
- Stewart, J. (2012). *Cálculo de una variable: Trascendentes tempranas* (7a ed.). Cengage Learning.
- Swann, W. (2013). The Impact of Applied Cognitive Learning Theory on Engagement with eLearning Courseware. En *Journal of Learning Design* (Vol. 6, Número 1).
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Laming and Insbuction*, 4, 293–312.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., y Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23, 87–102.
<https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>
- Tulving, E. (1986). Episodic and semantic memory: Where should we go from here? *Behavioral and Brain Sciences*, 9(3), 573–577.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00047257>

- Tuovinen, J. E., y Sweller, J. (1999). A Comparison of Cognitive Load Associated With Discovery Learning and Worked Examples. En *Journal of Educational Psychology* (Vol. 91, Número 2).
- Ursini, S., Sánchez, G., Butto, C., Orendain, M., y Butto, C. (2004). El uso de la tecnología en el aula de matemáticas. *Enseñanza de las ciencias*, 22(3), 409–424. <http://ddd.uab.cat/record/1673>
- Ursini, S., Sánchez, G., y Orendain, M. (2004). Validación y confiabilidad de una escala de Actitudes hacia las Matemáticas y hacia las Matemáticas Enseñadas con Computadora. *Educación Matemática*, 16(3), 59–78.
- Velasco Fernández, A. I. (2010). Sistemas adaptativos en educación. *Tecnología y desarrollo*, 8(17), 17.
- Vera, R., González, A., y Maldonado, K. (2018). El uso de la computadora para el aprendizaje de las matemáticas. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2602-8166, 2(2), 13–24. <http://www.runachayecuador.com/refcale/index.php/unesumciencias/article/view/2849>
- Wittrock, M. C. (1989). Generative Processes of Comprehension. *Educational Psychologist*, 24(4), 345–376. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2404_2
- Wu, C., Huang, Y., y Hwang, J. (2016). Review of affective computing in education/learning: Trends and challenges. *British Journal of Educational Technology*, 47(6), 1304–1323.
- Yilmaz, B. (2017). *Effects of adaptive learning technologies on math achievement: a quantitative study of ALEKS math software*. University of Missouri-Kansas City.
- Zan, R., Brown, L., Evans, J., y Hannula, M. S. (2006). Affect in mathematics education: An introduction. *Middlesex University Research Repository*, 63, 113–121. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-9028-2>

- Zan, R., Brown, L., Evans, J., y Hannula, M. S. (2012). *Affect in mathematics education: an introduction. Educational studies in mathematics.* 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.06.013>.The
- Zientek, L., Skidmore, S., Saxon, P., y Edmonson, S. (2015). Technology priorities and preferences of developmental mathematics instructors. *The Community College Enterprise, 21*, 27–47.
- Zuñiga, L. (2007). *El cálculo en carreras de ingeniería: un estudio cognitivo* (Vol. 10).

APÉNDICE A: ESCALA AMMEC MODIFICADA DE ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO Y HACIA EL CÁLCULO APRENDIDO CON COMPUTADORA

ESCALA DE ACTITUDES HACIA EL CÁLCULO

Antes de iniciar es conveniente que sepas que las respuestas de este cuestionario se utilizarán exclusivamente con fines de investigación educativa, tus datos personales se mantendrán absolutamente confidenciales y tu participación en el estudio no tendrá ningún impacto ni repercusión en tus calificaciones ni en tu relación con el profesor o con la institución.

**Obligatorio*

1. Dirección de correo electrónico *

2. ¿Aceptas de manera voluntaria que se te incluya como sujeto de estudio en el proyecto de investigación denominado "Uso de un sistema tutor adaptativo en línea para mejorar las actitudes y la comprensión de la derivada en estudiantes universitarios" y que se utilicen tus respuestas con fines investigativos? Puedes retirarte del proyecto en cualquier momento. Solo se te pedirá dar las razones de tal decisión. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

Sí acepto de manera voluntaria que se me incluya como sujeto de estudio en el proyecto de investigación

No acepto.

3. ¿En qué campus estudias? *

4. ¿Qué materia de cálculo cursas? *

Marca solo un óvalo.

- Mate 1
- Modelación matemática fundamental
- Otros: _____

5. ¿En dónde estudiaste la prepa? *

Marca solo un óvalo.

- Prepa Tec
- Otros: _____

Si has aceptado participar, por favor continúa respondiendo la encuesta **CON LA MAYOR HONESTIDAD POSIBLE**.

Por favor proporciona la siguiente información

6. Escribe tu nombre completo empezando con tu apellido paterno.

Encuesta

Lee atentamente cada aseveración y selecciona la opción con la que más te identificas. No hay respuestas correctas ni incorrectas en esta encuesta. Por favor sé lo más honesto posible. La palabra "cálculo" se refiere a los contenidos vistos en la materia de cálculo diferencial.

7. 1. Me gusta la clase de cálculo *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

8. 2. La clase de cálculo es aburrida *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

9. 3. El cálculo es difícil *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

10. 4. Cálculo es la materia que me gusta más *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

11. 5. El cálculo es divertido *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

12. 6. Me gusta el cálculo *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 sí
 INDECISO
 POCO
 NO

13. 7. Es importante aprender cálculo *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

14. 8. Me gustaría usar el cálculo cuando ya vaya a trabajar *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

15. 9. Me gusta aprender cálculo con computadora *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

16. 10. Tengo dificultad para entender lo que me piden en los problemas de cálculo *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

17. 11. Puedo resolver los problemas de cálculo planteados *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

18. 12. Prefiero las clases de cálculo sin computadora *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

19. 13. Me gusta manejar la computadora *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

20. 14. Prefiero que un compañero maneje la computadora *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

21. 15. Me pongo nervioso al usar la computadora *

Marca solo un óvalo.

- MUCHO
 SÍ
 INDECISO
 POCO
 NO

APÉNDICE B: PRUEBA PARA LA MEDICIÓN DEL APRENDIZAJE DE LA DERIVADA COMO RAZÓN DE CAMBIO

Prueba para la medición del aprendizaje de la derivada como razón de cambio

Los resultados de este cuestionario se utilizarán como parte del trabajo de investigación doctoral titulado "Uso de un tutor adaptativo en línea para mejorar las actitudes y la comprensión de la derivada en estudiantes universitarios"

***Obligatorio**

Dirección de correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

¿Aceptas de manera voluntaria que se incluyan los resultados como material de estudio en el proyecto de investigación titulado "Uso de un tutor adaptativo en línea para mejorar las actitudes y la comprensión de la derivada en estudiantes universitarios" y que se utilicen tus respuestas como datos con fines exclusivamente investigativos? Tus datos personales se mantendrán absolutamente confidenciales y tu participación en el estudio no tendrá ningún impacto ni repercusión en tus calificaciones ni en tu relación con el profesor o con la institución. *

- Sí acepto
- No acepto

Matrícula

0 puntos

Tu respuesta

Por favor elige tu género: *

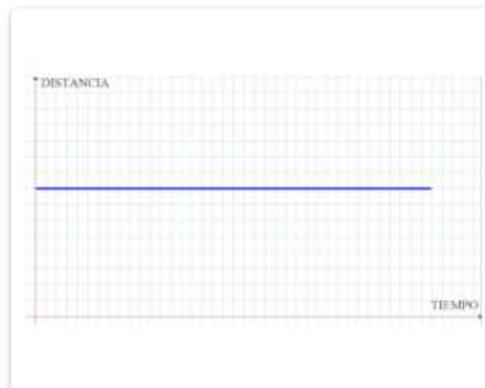
- Hombre
- Mujer
- Prefiero no decirlo

Por favor selecciona la opción que responda correctamente a cada enunciado.

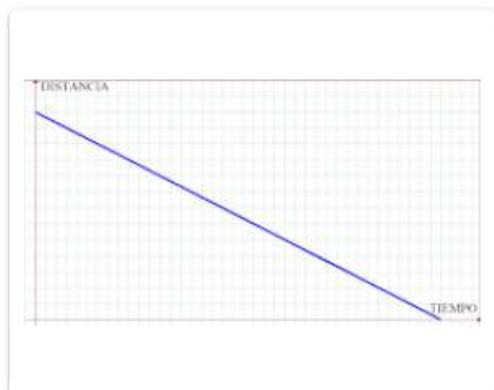
t) Sofía está bajando por la escalera de su casa hacia la sala. ¿Cuál de las siguientes gráficas podría representar el movimiento de Sofía? * 7 puntos



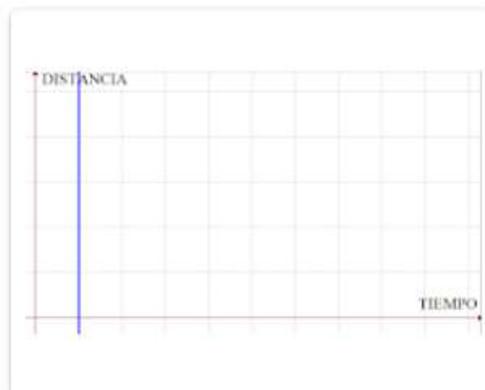
a)



Opción 2

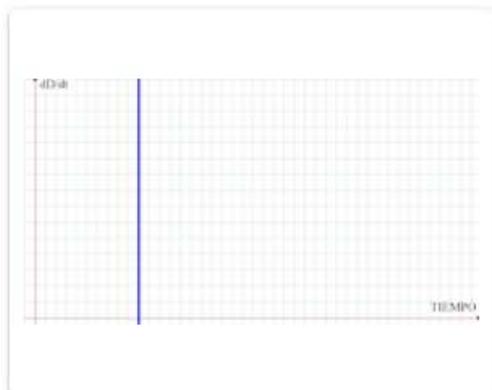


c)



d)

2) Si Sofía está bajando por la escalera de su casa con una velocidad constante. ¿Cuál 8 puntos de las siguientes gráficas representa la razón de cambio dD/dt ? *



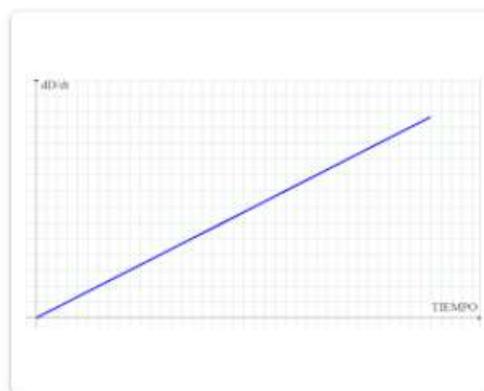
a)



b)



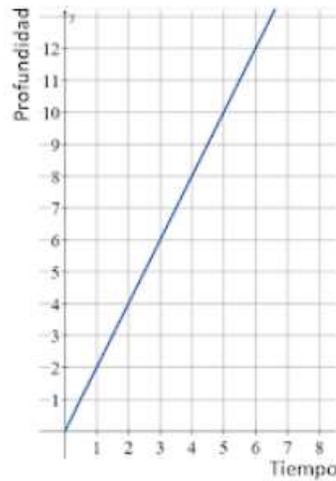
c)



d)

3.1) Un tanque se está llenando con agua que fluye a una velocidad constante, de modo que por cada segundo el nivel del agua aumenta 2 mm. En la tabla y la gráfica siguientes se ilustra esta situación. ¿Cuál es la razón de cambio de la profundidad cuando $x = 2$? *

8 puntos



Tiempo (segundos)	Profundidad (milímetros)
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10
6	12

- a) 4 mm/s
- b) 2 mm/s
- c) 6 mm/s
- d) 1 mm/s
- e) $\frac{1}{2}$ mm/s

3.2) En la misma tabla y gráfica del problema anterior, ¿cuál es la razón de cambio de la profundidad cuando $x=t$? *

- a) 6 mm/s
- b) 4 mm/s
- c) 1 mm/s
- d) 2 mm/s
- e) T mm/s

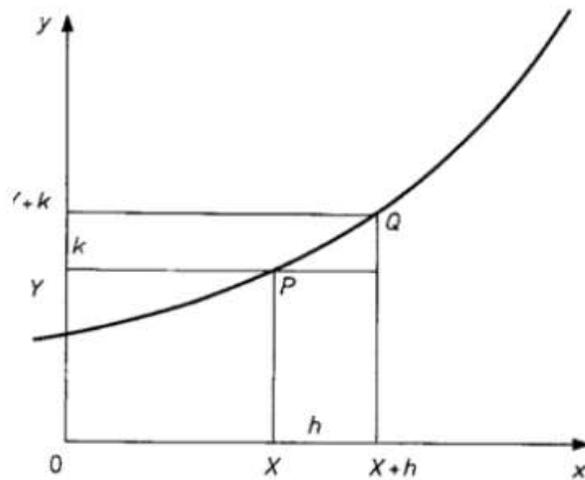
4) En la función que se muestra a continuación, x está en horas y $f(x)$ en metros. Si se calcula la razón de cambio dy/dx en $x=3$, ¿Cuáles son las unidades de dicha razón de cambio? *

$$y = f(x) = x^2 - 4x + 1$$

- a) h/m
- b) No tiene unidades, solo es un número
- c) m/h
- d) No se puede determinar con la información dada

5) El diagrama a continuación es uno que se usa comúnmente para introducir la definición de derivada mostrada. ¿En qué punto o puntos de la gráfica, mide la fórmula la razón de cambio instantánea? *

7 puntos



$$\frac{dy}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{k}{h}$$

- a) Q
- b) X
- c) Cualquier punto entre P y Q
- d) P
- e) Y

6) Cierta función de demanda del producto de un fabricante se muestra a continuación (p está en dólares). ¿Qué significado tiene la razón de cambio del precio p por unidad con respecto a la cantidad q cuando $q=5$? *

7 puntos

$$p = 100 - q^2$$

- a) Que la cantidad aumenta a razón de 10 unidades por dólar
- b) Que el precio aumenta a razón de 10 dólares por unidad
- c) Que la cantidad disminuye a razón de 10 unidades por dólar
- d) Que el precio disminuye a razón de 10 dólares por unidad
- e) Que el precio es de 75 dólares por unidad

7) Un sociólogo estudia varios programas que pueden ayudar en la educación de niños de edad preescolar en cierta ciudad. El sociólogo cree que x años después de iniciado un programa particular, el número de niños matriculados (en miles) puede calcularse con la función mostrada. ¿A qué razón cambiará la matrícula, después de 3 y 8 años de iniciado el programa? *

7 puntos

$$f(x) = 12x - x^2, \quad 0 \leq x \leq 12$$

- a) A los 3 años la matrícula crece a razón de 27000 niños por año y a los 8 disminuye a razón de 32000 niños por año
- b) A los 3 años la matrícula aumenta a razón de 6000 niños por año y a los 8 disminuye a razón de 4000 niños por año
- c) A los 3 años disminuye la matrícula a razón de 6000 niños por año y a los 8 aumenta a razón de 4000 niños por año
- d) A los 3 años disminuye la matrícula a razón de 6000 niños por año y a los 8 disminuye a razón de 4000 niños por año
- e) A los 3 años la matrícula aumenta a razón de 6000 niños por año y a los 8 aumenta a razón de 4000 niños por año

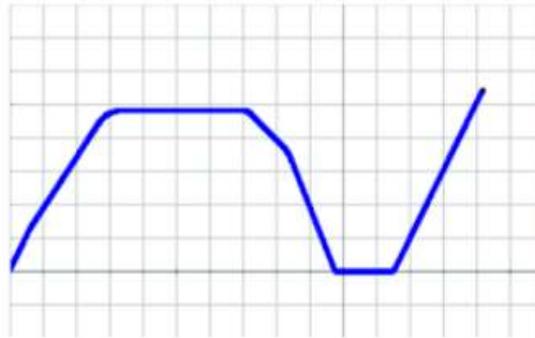
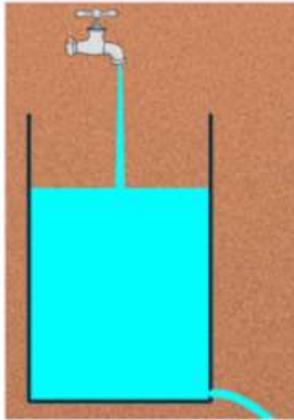
8) La temperatura aproximada T de la piel en términos de la temperatura M del medio ambiente está dada por la expresión que se muestra a continuación, donde T y M están en grados Celsius; ¿Cuál es la razón de cambio de la temperatura de la piel T con respecto a M cuando esta última es de 25°C ? *

7 puntos

$$T = 32.8 + 0.27(M - 20)$$

- a) 34.15°C
- b) 32.8°C
- c) 20°C
- d) Es imposible saberlo con la información dada
- e) 0.27°C

9) En la figura se muestra un tanque que se está llenando con agua. El tanque posee una llave de salida en la parte inferior que regula el volumen de agua en el tanque. La cantidad de agua que entra o sale del tanque se puede controlar a voluntad mediante las llaves de entrada y de salida. La gráfica de la derecha muestra el comportamiento de cierto proceso. Las variables en cuestión son el volumen de agua en litros y el tiempo en segundos.



9.1) ¿Qué variable colocarías en el eje horizontal y cuál en el vertical? *

7 puntos

- a) Volumen en el eje X y tiempo en el eje Y
- b) Volumen en el eje Y y tiempo en el eje X
- c) Es indistinto. Cualquier variable puede estar en cualquier eje.

9.2) ¿Qué significado tiene en este proceso la parte del gráfico con pendiente positiva? *

7 puntos

- a) Que la llave de salida está más abierta que la llave de entrada
- b) Que la llave de entrada está más abierta que la llave de salida
- c) Que las dos llaves están igualmente abiertas
- d) Que las dos llaves están cerradas

9.3) ¿Qué significa la parte del gráfico con pendiente negativa? *

7 puntos

- a) Que la llave de salida está más abierta que la llave de entrada
- b) Que la llave de entrada está más abierta que la llave de salida
- c) Que las dos llaves están igualmente abiertas
- d) Que las dos llaves están cerradas

9.3) ¿Qué significa la parte del gráfico con pendiente negativa? *

7 puntos

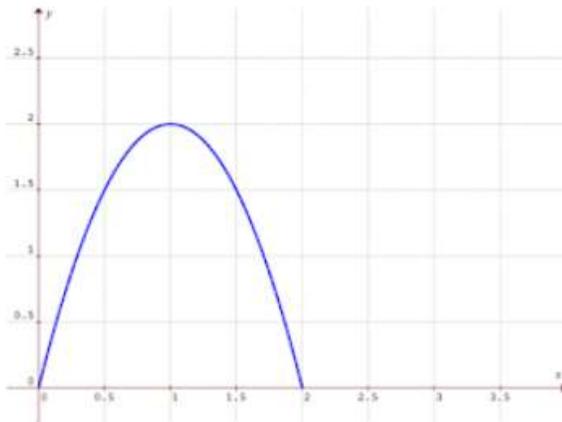
- a) Que la llave de salida está más abierta que la llave de entrada
- b) Que la llave de entrada está más abierta que la llave de salida
- c) Que las dos llaves están igualmente abiertas
- d) Que las dos llaves están cerradas

9.4) ¿Qué significado tiene la parte horizontal del gráfico (pendiente cero)? *

7 puntos

- a) Que la llave de entrada está más abierta que la llave de salida
- b) Que la llave de salida está más abierta que la llave de entrada
- c) Que las dos llaves están abiertas
- d) Que la cantidad de agua que está entrando es igual a la que está saliendo

10) En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de las utilidades (en miles de pesos) de un fabricante con relación al número de unidades producidas (en cientos de unidades). La utilidad R se puede modelar como una función del número de artículos x como se muestra en la ecuación junto al gráfico. ¿Cuál es la razón de cambio cuando se producen 50 artículos y cuál si se producen 150? *



$$R(x) = -2x^2 + 4x$$

- a) La utilidad aumenta a razón de \$1500/unidad cuando se producen 50 artículos, pero disminuye a razón de \$1500/unidad cuando se producen 150
- b) La utilidad aumenta a razón de \$2000/unidad cuando se producen 50 artículos, pero disminuye a razón de \$2000/unidad cuando se producen 150
- c) La utilidad aumenta a razón de \$2000/unidad en cualquiera de los dos casos
- d) La utilidad disminuye a razón de \$196/unidad cuando se producen 50 artículos, y disminuye a razón de \$596/unidad cuando se producen 150

APÉNDICE C: INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS
(MÉTODO DE AGREGADOS INDIVIDUALES)

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR										Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Claridad en la redacción		Coherencia interna		Inducción a la respuesta (Sesgo)		Lenguaje adecuado con el nivel del informante		Mide lo que pretende		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Aspectos Generales									Sí	No	*****

El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario			
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación			
Los ítems están distribuidos en forma lógica y secuencial			
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir			
VALIDEZ		Selecione	
EL INSTRUMENTO ES APLICABLE			
EL INSTRUMENTO NO ES APLICABLE			
APLICABLE ATENDIENDO A LA S OBSERVACIONES			
Validad o por:		Firma:	
e-mail:		Teléfono :	

Nota. Modificado de Formato de Corral, Yadira (2009) Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos

APÉNDICE D: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable	Descripción de la variable	Dimensión	Indicador	Categorías	Instrumento de recolección de datos
Variable Independiente	Diseño instruccional mediante el uso de un sistema tutor adaptativo en línea (STA). Variable tipo ordinal	Uso en la solución de tareas, ejercicios de práctica, autoevaluación y examen.	Número de actividades realizadas de manera individual. Tiempo de uso del STA.	Total >90% Parcial >50% Insuficiente <50%	Bitácora del Ambiente Virtual de Aprendizaje
Variables Dependientes	Comprensión del concepto de derivada como razón de cambio. La comprensión conceptual tiene como premisa saber qué hacer y las razones para hacerlo” (Skemp, 1976) Variable tipo ordinal		Calificación obtenida en las evaluaciones pretest y postest (Número de aciertos) ÷ (Número de ítems) × 100	Buena ≥ 80 % 60 ≤ Regular ≤ 79 Mala ≤ 59	Cuestionario pretest Cuestionario postest
	Actitud hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora Variable tipo ordinal	Cognitiva Afectiva Conductual	Creencias y juicios. Sentimientos y emociones. Intenciones y tendencias.	Positiva: Valores de la escala Likert: 5 a 4 Neutra: Valores de la escala Likert: 3 Negativa: Valores de la escala Likert: 2 a 1	Escala AMMEC modificada

APÉNDICE E: MATRIZ DE COMPONENTES ROTADA

	Componente	
	1	2
PRE 6	.894	.062
PRE 1	.857	.007
PRE 5	.795	.091
PRE 4	.761	.037
PRE 8	.649	.030
PRE 2	.615	.001
PRE 7	.585	.034
PRE 11	.551	.231
PRE 3	.483	.211
PRE 10	.411	.263
PRE 17	-.372	.116
PRE 20	.321	.203
PRE 9	-.019	.884
PRE 19	.048	.849
PRE 12	-.156	.844
PRE 21	.095	.765
PRE 16	.074	.755
PRE 13	-.037	.722
PRE 18	.213	.530
PRE 14	.094	.322
PRE 15	.080	.132
Método de extracción: análisis de componentes principales.		
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.		
a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Documentos encontrados en las bases de datos en los años 2014-2021 para distintas combinaciones de descriptores</i>	20
Tabla 2. <i>Criterios de inclusión/exclusión</i>	21
Tabla 3. <i>Principales aportes de algunos autores relevantes</i>	35
Tabla 4. <i>Investigaciones relevantes</i>	39
Tabla 5. <i>Los Principios multimedia</i>	50
Tabla 6: <i>Prueba de KMO y Bartlett</i>	82
Tabla 7: <i>Diferencia de puntajes postest-pretest</i>	94
Tabla 8. <i>Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk de la diferencia postest-pretest</i>	97
Tabla 9. <i>Prueba de homogeneidad de varianzas del postest</i>	98
Tabla 10. <i>Prueba t para la igualdad de medias postest $\alpha=0-05$</i>	99
Tabla 11: <i>Estadísticas de muestras emparejadas de la prueba T</i>	100
Tabla 12. <i>Estadísticos descriptivos Actitudes inicial y final</i>	102
Tabla 13. <i>Estadísticos descriptivos por ítem</i>	105
Tabla 14: <i>Clasificación de ítems en actitudes hacia el cálculo y hacia el cálculo aprendido con computadora</i>	110
Tabla 15. <i>Clasificación de ítems por componente</i>	113
Tabla 16: <i>Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente afectivo. Grupo experimental</i>	118
Tabla 17: <i>Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente cognitivo. Grupo experimental</i>	119

Tabla 18: <i>Porcentajes de cambio en las actitudes debidas al componente conductual. Grupo experimental.</i>	120
Tabla 19. <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk Actitud hacia el cálculo.</i>	122
Tabla 20. <i>Estadísticos de la actitud hacia el cálculo antes y después del tratamiento.</i>	122
Tabla 21. <i>Resultado de la prueba T para muestras relacionadas. Actitud hacia el cálculo.</i>	123
Tabla 22. <i>Estadísticas de muestras emparejadas. Actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.</i>	124
Tabla 23. <i>Resultado de la prueba T para muestras relacionadas. Actitud hacia el cálculo aprendido con computadora.</i>	125
Tabla 24. <i>Correlación de Pearson. Comprensión Vs. Actitudes.</i>	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del marco teórico	43
Figura 2. Modelo del sistema de procesamiento de información del alumno. Fuente: Mayer (2019).	53
Figura 3: Estructura clásica de un Sistema Tutor Inteligente. Fuente: Ceyca, (2004)	57
Figura 4. Esquema del dominio afectivo.	62
Figura 5. Modelo tricomponente de las actitudes.	65
Figura 6. Resumen de la metodología.	71
Figura 7. Resumen del marco metodológico.	71
Figura 8. Proceso de validación de contenido Pretest-Postest.....	81
Figura 9. Ejemplo de una pantalla de WebAssign	83
Figura 10. Esquema del experimento.	85
Figura 11. Organización de los resultados descriptivos.	90
Figura 12. Resultados del pretest grupo de control	91
Figura 13. Resultados del pretest grupo experimental	92
Figura 14. Resultados del postest grupo de control.....	93
Figura 15. Resultados del postest grupo experimental.....	93
Figura 16. Resultados agrupados grupo control (Pretest).....	95
Figura 17: Resultados agrupados grupo experimental (Pretest).....	95
Figura 18. Resultados agrupados grupo de control (Postest)	96
Figura 19. Resultados agrupados grupo experimental (Postest).....	96
Figura 20. Características descriptivas de los grupos. Actitud inicial.....	104
Figura 21. Características descriptivas de los grupos. Actitud final	104

Figura 22. Actitudes hacia el cálculo.....	108
Figura 23. Actitudes hacia el cálculo aprendido con computadora.....	109
Figura 24: Comparación de puntajes pretest-postest grupo de control.	111
Figura 25: Comparación de puntajes pretest-postest grupo experimental.....	112
Figura 26. Cambio actitudinal. Componente afectivo. Grupo de control.....	114
Figura 27. Cambio actitudinal. Componente cognitivo. Grupo de control	115
Figura 28. Cambio actitudinal. Componente conductual. Grupo de control.....	116
Figura 29: Cambio actitudinal. Componente afectivo. Grupo experimental.....	117
Figura 30: Cambio actitudinal. Componente cognitivo. Grupo experimental	119
Figura 31: Cambio actitudinal. Componente conductual. Grupo experimental	120