

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

**Propuesta de un sistema de tutoría inteligente para el
apoyo del aprendizaje de las matemáticas para
estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico
Costarricense**

Elaborado por:
Jocselyn Perera Hernández

Heredia, Costa Rica

2023

Tabla de contenidos

<i>Índice de Tablas</i>	4
<i>Índice de Figuras</i>	5
1. El problema y su importancia	11
1.1. Introducción	11
1.2. Propósito	13
1.3. Justificación	16
1.4. Preguntas de Investigación	20
1.5. Objetivos	21
2. Marco Teórico	23
2.1. Introducción	23
2.2. Competencia matemática	23
2.1.2. Competencias/Habilidades matemáticas del III Ciclo de la educación costarricense	25
2.4. Sistemas de Tutoría Inteligente	28
2.4.1. Definición de un STI	28
2.4.2. Características de un STI	29
2.4.3. Componentes de un STI	31
2.4.4. Ventajas y desventajas de un STI	34
2.4.5. Experiencias internacionales de la aplicación de STI en educación	37
2.5. Software de uso libre disponible para implementar STI	40
2.5.1. Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT)	40
2.5.2. MathDox	41
2.5.3. Aplusix Web	42
2.5.4. Dr.Geo	43
2.6. Resumen	43
3. Marco Metodológico	46
3.1. Investigación basada en las ciencias del diseño	46
3.2. Población	49

3.3. Etapas de la investigación _____	49
3.3.1. Entendimiento del problema _____	50
3.3.2. Diseño _____	53
3.3.3. Desarrollo _____	56
3.3.4. Evaluación _____	59
3.3.5. Conclusiones y recomendaciones _____	59
4. Entendimiento del problema _____	61
4.1. Identificación de las características de un STI considerando las experiencias internacionales de implementación de estos sistemas en la enseñanza de las matemáticas a nivel de secundaria _____	62
4.2. Identificación de las habilidades matemáticas planteadas en el programa del MEP, que pueden ser desarrolladas en un STI de acuerdo con su definición _____	62
4.3. Determinación de las necesidades y expectativas a implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense _____	66
5. Diseño _____	70
5.1. Diseño de la arquitectura de contenido tentativa del STI _____	70
5.2. Validación de la arquitectura de contenido tentativa del STI _____	78
5.3. Diseño final de la arquitectura de contenido del STI, con base en las modificaciones y recomendaciones planteadas _____	84
6. Desarrollo _____	92
6.1. Selección de software para el desarrollo del prototipo _____	92
6.2. Delimitación del alcance del prototipo _____	100
6.2.1. Proceso de selección de conocimientos específicos del prototipo _____	106
6.3. Definición de criterios de evaluación para el prototipo _____	108
6.3.1. Criterios de usabilidad _____	111
6.3.2. Criterios de percepción de la información presentada en el STI _____	113
6.4. Desarrollo del prototipo _____	114
7. Evaluación _____	129
7.1. Características de la muestra de personas evaluadoras _____	129

7.2. Evaluación de usabilidad del prototipo del STI _____	129
7.3. Evaluación del contenido y percepción general _____	133
8. Conclusiones y Recomendaciones _____	135
8.1. Conclusiones _____	135
8.2. Recomendaciones _____	139
9. Análisis retrospectivo _____	142
9.2. Referente al proyecto _____	142
9.2. Referente a los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense _____	143
9.3. Referente a la maestría _____	145
Referencias bibliográficas _____	147
Anexos _____	157
Anexo 1. Guía de entrevista para la identificación de necesidades _____	158
Anexo 2. Guía de entrevista para la validación del diseño del STI _____	160
Anexo 3. Guía de planificación para el grupo focal de validación del diseño del STI	161
Anexo 4 Guía para la delimitación del prototipo del STI _____	163
Anexo 5 Desarrollo del STI desde la parte de configuración y diseño _____	165
Anexo 6. Instrumento: Evaluación del STI para la enseñanza de las matemáticas__	179
Anexo 7. Tabulación de la evaluación SUS _____	181
Anexo 8. Tabulación de la evaluación de preguntas abiertas _____	183

Índice de Tablas

Tabla 2.1. <i>Habilidades Matemáticas de la educación del tercer ciclo del currículo del MEP y su relación con PISA.....</i>	26
Tabla 4.1. <i>Contenido matemático detallado, según el programa de matemáticas del MEP</i>	63
Tabla 5.1. <i>Diseño preliminar arquitectura de contenidos para el STI.....</i>	72
Tabla 5.2. <i>Muestra utilizada en el grupo de enfoque Muestra utilizada en el grupo de enfoque</i>	78
Tabla 5.3. <i>Recomendaciones para mejorar el diseño de la arquitectura de contenido para e STI ..</i>	80
Tabla 5.4. <i>Recomendaciones para mejorar el diseño de la arquitectura de contenido para e STI ..</i>	82
Tabla 5.5. <i>Diseño final de la arquitectura de contenidos para el STI.....</i>	85
Tabla 6.1. <i>Análisis de los STI de software libre</i>	94
Tabla 6.2. <i>Delimitación realizada por participantes para los contenidos presentados en la arquitectura</i>	101
Tabla 6.3. <i>Conocimientos específicos seleccionados para el prototipo</i>	107
Tabla 6.4. <i>Ítem de usabilidad utilizados en SUS.....</i>	111
Tabla 6.5. <i>Preguntas realizadas para evaluar el contenido y la percepción general del prototipo del STI.....</i>	113
Tabla 7.1. <i>Escala de calificación para la SUS.....</i>	130
Tabla 7.2. <i>Aspectos que menos gustaron del STI</i>	131
Tabla 7.3. <i>Aspectos que más gustaron del STI</i>	132
Tabla 7.4. <i>Satisfacción sobre las herramientas de apoyo.....</i>	133

Índice de Figuras

Figura 2.1. Interacción de los módulos de un STI	31
Figura 2.2. Estados de aprendizaje en un STI.....	33
Figura 3.1. Fases de la metodología DSR y sus entregables.....	47
Figura 3.2. Flujo de actividades en la metodología DSR.....	50
Figura 4.1. Contenido y habilidades matemáticas del III Ciclo de la educación costarricense	67
Figura 4.2. Contenido y habilidades matemáticas priorizadas por el docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense	68
Figura 6.1. Ecuaciones de primer grado: ejercicio 1.....	117
Figura 6.2. Ecuaciones de primer grado: ejercicio 2.....	118
Figura 6.3. Ecuaciones de primer grado: ejercicio 3.....	119
Figura 6.4. Ecuaciones de primer grado: ejercicio 4.....	120
Figura 6.5. Ecuaciones de primer grado: ejercicio 5.....	121
Figura 6.6. Productos notables: ejercicio 6.....	122
Figura 6.7. Productos notables: ejercicio 7.....	123
Figura 6.8. Productos notables: ejercicio 8.....	124
Figura 6.9. Productos notables: ejercicio 9.....	125
Figura 6.10. Productos notables: ejercicio 10.....	126
Figura 6.11. Teorema de Pitágoras: ejercicio 11	127
Figura 6.12. Teorema de Pitágoras: ejercicio 12	128
Figura 7.1. Promedio para las evaluaciones para los SUS (con los ítems pares revertidos)	129
Figura A5.1. HTML ejercicio 1	165
Figura A5.2. Diseño y arquitectura del ejercicio 1	166
Figura A5.3. Diseño y arquitectura del ejercicio 2	167
Figura A5.4. Diseño y arquitectura del ejercicio 3	168
Figura A5.5. Diseño y arquitectura del ejercicio 4	169
Figura A5.6. Diseño y arquitectura del ejercicio 5	170
Figura A5.7. HTML ejercicio 6.....	171
Figura A5.8. Diseño y arquitectura del ejercicio 6	172
Figura A5.9. Diseño y arquitectura del ejercicio 8	173
Figura A5.10. Diseño y arquitectura del ejercicio 9	174
Figura A5.11. Diseño y arquitectura del ejercicio 10	175
Figura A5.12. HTML del ejercicio 11	176
Figura A5.13. Diseño y arquitectura del ejercicio 11	177
Figura A5.14. Diseño y arquitectura del ejercicio 12	178

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mi abuelo, mamá y hermano, que con su ejemplo siempre han sido una inspiración en mi vida, me han motivado a ser mejor cada día y a crecer como persona y profesional.

A mi linaje familiar por ser una fuente inagotable de inspiración, amor y fortaleza.

“Haz de tu vida un sueño, y de un sueño una realidad” Saint-Exupéry

Agradecimiento

Especialmente a mi tutor de proyecto Francisco Mata que me guío y apoyó en todo este proceso y en momentos en los que dudaba del resultado me impulsó a seguir a delante, gracias por su paciencia y dedicación.

A mis compañeras de maestría, las cuales son el claro ejemplo de sororidad y a las cuales admiro y respeto como personas y profesionales.

“Detrás de cada mujer existe una historia que la convierte en guerrera”

A los estudiantes de la sección 10-1 del Colegio Humanístico Costarricense, por mostrar su anuencia en participar de este proyecto, al docente Erick Pizarro, por todo el apoyo y realimentación dada durante este proceso; mi respeto y admiración por la labor que hace todos los días y por la conexión que tiene con sus estudiantes.

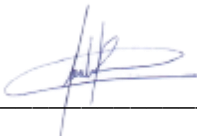
A Ronny Gamboa, lector de este proyecto por mostrar su disposición y apoyo en diferentes etapas de este proyecto.

AUTORIZACIÓN DE USO DE DERECHOS PATRIMONIALES DE AUTOR E INCORPORACIÓN A REPOSITARIOS INSTITUCIONALES DE INFORMACIÓN DE ACCESO PÚBLICO

La persona abajo firmante, en condición de estudiante de la maestría: Jocselyn Perera Hernández y autor del trabajo final de graduación titulado: Propuesta de un sistema de tutoría inteligente para el apoyo del aprendizaje de las matemáticas para estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense para optar por el posgrado académico de Maestría en Gestión de la Innovación Tecnológica, de conformidad con lo establecido en el documento de “Lineamientos generales para la realización del trabajo final de graduación” y demás normativa universitaria relacionada con estos trabajos de graduación, DECLARO BAJO FE DE JURAMENTO, conociendo la responsabilidad civil, penal o administrativa en que podría incurrir al no decir la verdad, lo siguiente:

1. El documento, producto, obra audiovisual o software resultado del trabajo final de graduación referido anteriormente es original, inédito y ha cumplido con todo el proceso de aprobación académico que confiere el posgrado académico postulado con esta obra.
2. El trabajo final de graduación referido anteriormente constituye una producción intelectual propia de la persona abajo firmante y, a esta fecha, no ha sido divulgado a terceros(as) en forma pública por ningún medio de difusión impreso o digital.
3. Autorizo el depósito de un ejemplar en formato impreso y otro en formato digital (entregado en soporte de disco compacto), en la colección de trabajos finales de graduación del ProGesTIC de la Universidad Nacional, así como la realización de copias electrónicas adicionales para fines exclusivos de seguridad y conservación de la información.
4. En caso de que el trabajo final de graduación haya sido elaborado como obra en colaboración —bien se trate de obras en las que los autores(as) tienen el mismo grado de participación o aquellas en las que existe una persona autora principal y una o varias personas autoras secundarias—, todos(as) ellos(as) han contribuido intelectualmente en la elaboración del documento y, en este acto, libero de responsabilidad a las autoridades del posgrado y a los funcionarios que custodian la colección del ProGesTIC, en relación con el reconocimiento que se realiza respecto de los niveles de participación asignados por el propio autor del proyecto.
5. En caso de que el trabajo final de graduación haya sido elaborado como obra en colaboración (conforme a lo dispuesto en el punto 4), el autor abajo firmante designa a (NOMBRE DE ESTUDIANTE)_____ como encargado de recibir comunicaciones y representar con autoridad suficiente a los suscritos en condición de agente autorizado(a) de los demás autores(as).
6. Reconozco que la colección de trabajos finales del ProGesTIC no emite criterios ni valoraciones académicas sobre lo planteado en el producto final del trabajo de graduación y autorizo a esta dependencia para que proceda a poner a disposición del público la obra en mención, a través de los espacios físicos o virtuales que se posea, así como a través del Repositorio Institucional, a partir del cual los usuarios de dichas plataformas puedan acceder al documento y hacer uso de este en el marco de los fines académicos, no lucrativos y de respeto a la integridad del contenido del mismo, así como la mención del autor o poseedor de sus derechos.

7. Manifiesto que todos los datos de citas dentro del texto y sus respectivas referencias bibliográficas, así como las tablas y figuras (ilustraciones, fotografías, dibujos, mapas, esquemas u otros) tienen la fuente y el crédito debidamente identificados, y se han respetado los derechos de autor.
8. Autorizo la licencia gratuita no exclusiva de los derechos patrimoniales de autor para reproducir, traducir, distribuir y poner a disposición pública, en formato electrónico, el documento depositado para fines académicos, no lucrativos y por plazo indefinido en favor de la Universidad Nacional, que incluye además los siguientes actos:
 - a) La publicación y reproducción íntegra de la obra o parte de ésta, tanto por medios impresos, como electrónicos, incluyendo Internet y cualquier otra tecnología conocida o por conocer.
 - b) La traducción a cualquier idioma o dialecto de la obra o parte de ésta.
 - c) La adaptación de la obra a formatos de lectura, sonido, voz y cualquier otra representación o mecanismo técnico disponible, que posibilite su acceso para personas no videntes parcial o totalmente, o bien, con alguna otra forma de capacidades especiales que le impidan su acceso a la lectura convencional del proyecto.
 - d) La distribución y puesta a disposición de la obra al público, de tal forma que el público pueda tener acceso a ella desde el momento y lugar que cada quien elija a través de los mecanismos físicos o electrónicos de que disponga.
 - e) Cualquier otra forma de utilización, proceso o sistema conocido o por conocerse que se relacione con las actividades y fines académicos a los cuales se vincula la maestría, la colección de trabajos finales del ProGesTIC, la Escuela de Informática y la Universidad Nacional.
9. Reconozco que la colección de trabajos del ProGesTIC manifiesta actuar con diligencia para evitar la existencia en su sitio web de contenidos ilícitos y, en caso de que tenga conocimiento efectivo de la existencia de infracciones a los derechos de propiedad intelectual, se reserva el derecho de proceder a bloquear el acceso durante el trámite del debido proceso para comprobar el incumplimiento y, en caso de verificarse la falta, retirar definitivamente el acceso al proyecto depositado.
10. Acepto que la publicación y puesta a disposición del público del trabajo final de graduación, así como la presente autorización de uso de la obra, se regirá por la normativa institucional de la Universidad Nacional y la legislación de la República de Costa Rica. Adicionalmente, en caso de cualquier eventual diferencia de criterio o disputa futura, acepto que ésta se dirimirá de acuerdo con los mecanismos de Resolución Alternativa de Conflictos y la Jurisdicción Costarricense.

Firma:  _____

Sustentante: Jocselyn Perera Hernández

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto nace con la idea de contribuir de algún modo a la educación del país, ya que existe un rezago académico en los estudiantes de décimo año en Costa Rica, ocasionado por las prolongadas interrupciones de clases debida la huelga de los educadores públicos entre 2018-2019 y posteriormente a la pandemia por la COVID-19 (2020-2022). El propósito de este proyecto consistió en implementar un sistema de tutoría inteligente (STI) que coadyuvara a la formación de habilidades matemáticas en los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

En este trabajo se logra identificar cuáles son las necesidades que poseen los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense, además se desarrolló el entendimiento del problema con el apoyo de un grupo de personas relacionadas con educación, el cual incluyó especialistas en diseño instruccional, docentes de matemáticas y experta en pedagogía, adicionalmente se identificó las mejores prácticas que se han desarrollado en otros países y que sirvieron de guía para la solución diseñada.

El proyecto utilizó la metodología de investigación basada en la ciencia del diseño, la cual permite dividir el proceso en las siguientes etapas: 1) entendimiento del problema; 2) diseño; 3) desarrollo; 4) evaluación y 5) conclusión.

El presente trabajo se compone de nueve capítulos, el capítulo 1, presenta la problemática, el propósito, la justificación, los objetivos y la viabilidad de esta investigación. El capítulo 2, muestra la revisión de la literatura que sirvió como base para el marco teórico. El marco metodológico que se utilizó para la ejecución del proyecto se detalla en el capítulo 3. El capítulo 4 se profundiza el entendimiento del problema, con el apoyo de un grupo de personas con conocimiento educación, diseño instruccional y matemáticas. El diseño de la

solución se explica a detalle en el capítulo 5, así como la validación del mismo. En el capítulo 6, se muestra el proceso de desarrollo del prototipo, el cual incluyó las actividades de delimitación del alcance, definición de los criterios de evaluación, selección de las herramientas y creación del prototipo. En el capítulo 7 se realizó una evaluación del prototipo con los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense. El capítulo 8 presenta las conclusiones y recomendaciones, las cuales son fundamentadas en los resultados de la evaluación del capítulo anterior, adicionalmente las recomendaciones para mejorar el STI y habilitarlo en otros centros educativos. Finalmente, se presenta el capítulo 9, el cual muestra un análisis retrospectivo por parte de la investigadora, el cual incluye la apreciación desde el proyecto de investigación y la maestría. Este proyecto de investigación generó un producto mínimo viable que puede colocarse en marcha para el uso de los estudiantes del Colegio Humanístico Costarricense. El proyecto ejecutado generó una solución que, si bien no se pudo evaluar en términos de efectividad en el proceso de aprendizaje, en términos de usabilidad tuvo una valoración media y en términos de contenido según los resultados de la evaluación realizada al prototipo, alcanzó un nivel alto de calificación. Por último, este proyecto expone una serie de recomendaciones para las futuras etapas de implementación del diseño de la solución planteada. Las recomendaciones realizadas proponen generar un grupo multidisciplinario para continuar con el desarrollo, por lo tanto, se debe realizar un análisis del alcance deseado, ejecutar las actividades de desarrollo basadas en una metodología ágil, mejorar el diseño del STI, generar contenido fidedigno y claro y por último implementar el diseño universal de aprendizaje (DUA).

1. El problema y su importancia

1.1. Introducción

En la medida en la cual se esté dando un avance tecnológico y una transformación social, la educación debe ir cambiando. Como lo menciona Egea (2013), transformación social y educación deben ir de la mano, ya que son parte de un proceso socioeducativo abierto y continuo que permite y brinda “las condiciones para el desarrollo de una ciudadanía crítica, responsable y comprometida a nivel individual y colectivo” (párr. 5). En este sentido se comprende que la educación ha tenido que ir tomando otro rumbo en el cual asume otras funciones prácticas, sociales y emocionales. En Costa Rica el uso de la tecnología se vio como parte transversal del programa de matemáticas en su última actualización realizada en el 2012, donde se indica el uso de tecnologías como uno de los ejes centrales para enriquecer y redimensionar la resolución de problemas y las estrategias educativas. Asimismo, como consecuencia de la pandemia por COVID-19, la educación básica se ha visto obligada a realizar cambios, evolucionando con el uso e implementación de las nuevas tecnologías, hacia un mayor uso de clases remotas y de métodos de educación a distancia. Por esta razón, los docentes se han visto en la obligación de modificar la forma en la que imparten sus clases. Con todos estos cambios se habla cada vez más constantemente de términos relacionados con el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como es el caso de las plataformas virtuales de aprendizaje, el software colaborativo para la educación, los sistemas de gestión de aprendizaje, y unido a los anteriores, los sistemas para el aprendizaje asistido por computador, particularmente los que se conocen como sistemas de tutoría inteligente (STI), y que están directamente relacionados con la aplicación de inteligencia artificial (IA).

Dado esta coyuntura, Ocaña-Fernández et al. (2019) plantean que ante estos escenarios y ante las necesidades actuales de la sociedad, la IA promete contribuir a la mejora sustancial de la educación en todos sus niveles, proporcionando a la población estudiantil un aprendizaje personalizado, según sus necesidades educativas, todo ello a través de la implementación de las tecnologías digitales, tecnologías de la información y la comunicación y mediante las diversas interacciones humanas.

Los sistemas de tutoría inteligente usualmente se utilizan para la enseñanza de las matemáticas por diferentes razones: es una materia lógica y estructurada, donde se deben seguir una serie de procedimientos y requiere de constante práctica por parte del estudiantado para dominarla. Por ello, recibir realimentación a tiempo, aprendizaje personalizado y brindar prácticas, es necesario y estas funciones son ofrecidas por los STI (Rodríguez, 2021; Olmo-Muñoz et al., 2023).

Siguiendo las ideas del párrafo anterior, otro aspecto importante a mencionar que lleva a considerar los STI como una posible herramienta a implementar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas son las capacidades que tienen, las cuales son: la adaptabilidad que poseen para satisfacer las necesidades individuales de cada uno de los estudiantes, según su ritmo de aprendizaje, permiten la personalización del contenido y las instrucciones dependiendo de los intereses y preferencias de aprendizaje de los estudiantes, retroalimentación inmediata lo que permite corregir los errores a tiempo y reforzar los conocimientos y por último, tienen la capacidad de monitorear el progreso del estudiantado (Alkhatlan y Kalita, 2018; Singh et al., 2022).

Los STI son aplicaciones TIC educativas las cuales:

aplican algunas técnicas de la inteligencia artificial, esto con el objetivo de dotar al sistema de una habilidad que solo los seres humanos poseen, “inteligencia”,

contribuyendo así a que estos sistemas identifiquen las falencias en el aprendizaje y puedan reforzar el conocimiento en el transcurso del aprendizaje de cierta área de conocimiento (Durango y Pascuas, 2015, p. 105).

Debido a las capacidades que tiene un STI para proveer una tutoría individualizada, y de esta manera ofrecer apoyo para el acompañamiento personalizado en el aprendizaje de las matemáticas, se plantea en este trabajo el uso de uno de estos sistemas con fin de fortalecer los conocimientos y a su vez el aprendizaje adquirido para los estudiantes de décimo año de secundaria de la educación costarricense. Lo anterior parece ser una solución viable a algunos de los aspectos del problema educativo que está actualmente sufriendo Costa Rica, como indica el Octavo Informe del Estado de la Educación (Programa Estado de la Nación [PEN], 2021).

Con este fin, se propone la implementación y prueba de tal sistema en el Colegio Humanístico Costarricense, el cual está anuente a colaborar en este proyecto.

1.2. Propósito

El problema por el cual surge esta investigación es el rezago académico en los estudiantes de décimo año en Costa Rica, ocasionado por las prolongadas interrupciones de clases debida la huelga de los educadores públicos entre 2018-2019 y posteriormente a la pandemia por la COVID-19 (2020-2022).

Estas situaciones han provocado una reducción significativa de los aprendizajes en el país y ha llevado a denominar este fenómeno como el “apagón educativo”. Lo anterior según plantea el Estado de la Educación, elaborado por el Programa Estado de la Nación: “compromete el desarrollo de habilidades y habilidades para el progreso del país y la democracia” (PEN, 2021, p. 29). Tal es el caso de la educación de décimo año, para la cual los estudiantes solo abarcaron el 68% de los contenidos curriculares en matemáticas, lo

que genera un impacto negativo significativo en la sociedad, según detalla el informe anteriormente citado.

Sumado a esto en el último informe del “Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes” (PISA, por sus siglas en inglés) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), presentado en el 2018, Costa Rica se posicionó en la posición 63 de los 79 países evaluados. Como menciona May (2019), en comparación con los países de la OCDE, Costa Rica se coloca por debajo del promedio “en las tres categorías [evaluadas] obteniendo 41 puntos menos en lectura, 73 puntos menos en ciencias y 87 menos en matemáticas” (párr. 7), esto evidencia las carencias existentes en las habilidades también conocidas como habilidades matemáticas a nivel nacional, lo que genera la necesidad de plantear una posible solución a esta problemática.

Como se mencionó anteriormente, en esta investigación se plantea como una posible solución al problema del rezago educativo en matemática en Costa Rica el uso de un STI, en apoyo a un aprendizaje personalizado para la formación de habilidades matemáticas de los estudiantes de secundaria, específicamente a nivel de décimo año y en el Colegio Humanístico Costarricense. Esta es una institución educativa que recibe estudiantes de cualquier zona del país. Además, la directora del colegio y el docente de matemáticas se muestra abierto para apoyar este proyecto.

El Colegio Humanístico Costarricense está ubicado en la provincia de Heredia e imparte únicamente los niveles de décimo y undécimo año. El mismo fue creado en 1998, este centro educativo surge como respuesta a los desafíos éticos existentes y con ello por la necesidad de generar opciones educativas que fomenten los espacios de reflexión y formación de valores humanos. Este centro educativo está dirigido a la población estudiantil con vocación por las letras, la filosofía, la historia, el arte, la crítica del pensamiento, la cultura y las ciencias exactas de una manera integral con el propósito de desarrollar la

sensibilidad propia del humanismo. Ofrece la oportunidad de adquirir y desarrollar destrezas, conocimientos y orientación profesional, por medio del estímulo de la capacidad crítico-analítica, creativa y racional del ser humano en relación con su realidad.

El Colegio Humanístico Costarricense ofrece un proceso educativo vinculado a los intereses de los jóvenes y a las necesidades de la sociedad. El estudiante es protagonista de su propio proceso de aprendizaje, a partir de un enfoque educativo humanístico, brindando soporte y fomentando la iniciativa, la autonomía, la responsabilidad y el liderazgo.

Este proyecto pretende impactar de manera directa a la comunidad educativa del Colegio Humanístico Costarricense, así como ser un apoyo en el proceso de transformación social del país. Por tanto, se enmarca en la innovación social, la cual según la European Commission (2013) puede ser definida como:

El desarrollo e implementación de nuevas ideas (productos, servicios y modelos) para satisfacer las necesidades sociales, crear nuevas relaciones sociales y ofrecer mejores resultados. Sirve de respuesta a las demandas sociales que afectan al proceso de interacción social, dirigiéndose a mejorar el bienestar humano (p. 4).

También, en este mismo documento se menciona que “son aquellas que no sólo son buenas para la sociedad, sino que mejoran la capacidad de actuación de las personas” (p.4).

Con los acontecimientos que se han suscitado a nivel país en los últimos tres años se ve más clara la necesidad de transformar la educación. La innovación, a través de las TIC, permite esta transformación, la cual tiene un claro impacto social considerando que la educación no es solo la base del desarrollo humano, sino también del económico.

Steenbergen-Hu y Cooper (2014), concluyen que los STI pueden usarse como una instrucción principal independiente, como parte de la instrucción regular en el aula o como una herramienta de aprendizaje complementario. Esto afirma que los STI agregan valor a la educación y ofrecen una opción más a la variedad de tecnologías educativas disponibles para educadores y estudiantes.

Para este proyecto se pretende implementar un STI, considerando sus componentes principales, los cuales en conjunto proveen un apoyo al proceso de aprendizaje, complementando la labor de los docentes.

1.3. Justificación

Esta investigación parte de la observación planteada en el Octavo Informe de Estado de la Educación (PEN, 2021), el cual indica que:

Las prolongadas interrupciones de clases en la educación secundaria provocadas por las huelgas de 2018 y 2019, sumados a la pandemia (2020 y 2021), contribuirían a la tendencia del estancamiento en los próximos años si, como es de esperar, los impactos sobre contenidos curriculares no cubiertos debilitaron las capacidades previas requeridas para transitar al nivel superior, aun cuando hayan aprobado los cursos y concluido la secundaria (p. 254).

En relación con esta problemática, Casasola (2019) señala que por motivo de las huelgas llevadas a cabo por los docentes entre 2018-2019, los estudiantes perdieron 104 días de clases, lo que representaba el 45% del curso lectivo del año 2018 y una afectación aproximada del 7.5% del curso lectivo a septiembre del 2019. Como afirma el MEP (2018, como se cita en Castro, 2020) existe un listado muy amplio de contenidos que no se abordaron lo cual ocasionó un efecto negativo en los procesos de aprendizaje por asignatura.

Sumado a esto Chaves (2020) señala como por consecuencia de las huelgas de educadores y manifestaciones estudiantiles llevadas a cabo entre 2018 y 2019 se vio afectado totalmente el currículo de matemáticas, ya que se realizó una reforma de la educación matemática, excluyendo casi totalmente el área de estadística y probabilidad, lo que “reduce las posibilidades de los estudiantes de realizar un análisis eficiente sobre las situaciones cotidianas y sus consecuencias, sino que también imposibilita la adquisición de esta alfabetización estadística” (p. 70), lo que permite evidenciar la necesidad de reforzar las habilidades matemáticas en los estudiantes de décimo año.

En particular en el Octavo Informe de Estado de la Educación (PEN, 2021) se indica que:

- “Solo se cubrió en promedio cerca del 50% de los aprendizajes propuestos en los programas de estudio de Matemáticas” (p. 39).
- Los estudiantes de décimo año de secundaria solo abarcaron el “68% de los contenidos curriculares en matemáticas” (p. 40), lo que les ocasiona un rezago académico, ya que no podrán llegar a la universidad con bases sólidas.
- En III Ciclo (desde séptimo hasta noveno año) como en la Educación Diversificada (décimo y undécimo año), en 2018, no se impartieron el 26% y 18% de las lecciones matemáticas estipuladas para cada nivel respectivamente, mientras la pandemia conllevó a una reducción del 57% y 35% para cada caso.
- En particular, los estudiantes que cursaban décimo año trabajaron parcialmente todas las áreas del currículo. En el programa de estudios para este nivel, se señala que, del total de lecciones, el 43% debe dedicarse a relaciones y álgebra, el 33% a geometría y un 24% estadística y probabilidad; no obstante, durante el 2020, el porcentaje de cobertura en cada área fue del 37%, 19% y 12% (p. 108).

Además, en el Noveno Informe de Estado de la Educación (PEN, 2023) se señala lo siguiente:

- Un estudio realizado con estudiantes de las universidades en 2022 identifica que el principal factor asociado a las tasas de reprobación en cursos de inicio de carrera son las malas bases recibidas en la secundaria.
- En la educación superior existe una alta tasa de reprobación en los primeros niveles, especialmente en los cursos de servicio principalmente en los cursos de Ciencias Básicas, sobre todo aquellos de matemáticas o estadística.
- En la educación secundaria, se evidenciaron importantes carencias en conocimientos y habilidades vinculadas con los aprendizajes básicos en las pruebas de lectura en español, así como en matemáticas y ciencias, medidas a través de las pruebas FARO realizadas en 2021.

Por consiguiente, este trabajo se justifica en la urgente necesidad de disminuir el rezago en las competencias/habilidades matemáticas de los estudiantes de décimo año que vienen arrastrando de años anteriores, para contribuir así a la disminución del impacto negativo que esto podría tener para su ingreso a la universidad. También, se espera un impacto en estudiantes de grados inferiores, quienes eventualmente cursarán el décimo año, y posiblemente también presenten deficiencias en su formación matemática, como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, esta importancia no es meramente educativa, sino también económica, pues también indica el informe del Programa Estado de la Nación (PEN, 2021) que este rezago perjudicará la productividad, lo cual indudablemente tendrá una incidencia en el desempeño económico del país.

Por otro lado, el estudio y aplicación de los STI tiene importancia, puesto que al ser herramientas de apoyo para el proceso de enseñanza-aprendizaje, los mismos podrían mejorar, y quizás, hasta revolucionar, la educación secundaria en el caso de las matemáticas. Estos sistemas brindan a los docentes la posibilidad de medir el nivel de comprensión que poseen los estudiantes en algún tema en específico, al ofrecer un historial

del desenvolvimiento en un tema de estudio y la resolución de ejercicios planteados (Reyes y De la Ossa, 2008).

Asimismo, dado que este proyecto plantea una posible solución al problema antes identificado con la aplicación de tecnología, y busca una mejora significativa en la reducción del rezago educativo en el país, cumple con las expectativas para un proyecto de graduación de la Maestría en Gestión de la Innovación Tecnológica (MAGIT).

En relación con el problema planteado, se considera que este proyecto podría generar valor a la comunidad docente costarricense, ya que le permitiría al personal docente de matemática dar un mayor seguimiento a sus estudiantes, proveerles un valioso apoyo, y coadyuvar a tener un mayor impacto en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Por otra parte, a los estudiantes, les permitiría un aprendizaje más personalizado, tener prácticas constantes sin necesidad de que los padres de familia tengan que invertir dinero extra en pagar tutores, y ayudar a aquellos estudiantes cuyas habilidades matemáticas se encuentran más rezagadas.

Aunque, otros países ya están aplicando tales sistemas, la implementación, uso y prueba de un STI en apoyo a la enseñanza de las matemáticas para décimo año es una propuesta novedosa en Costa Rica. Las experiencias previas que existen para el uso de la tecnología que apoyan a la educación, son las siguientes:

- Prueba de dominio lingüístico de la UCR, que consiste en una especie de diagnóstico en dos habilidades del idioma inglés que son la escucha y lectura. Sin embargo, no muestra resultados en tiempo real y no hay un plan de acción asociado al resultado para reforzar las áreas de mejora.
- Canales de YouTube de matemáticas, la mayoría dirigidos por docentes de matemáticas. Sin embargo, son explicaciones tipo clase magistral, donde se

trata solo de observar y escuchar, no hay acompañamiento ni recursos asociados a esos temas.

- MindDo, es un curso virtual que prepara a los estudiantes para los exámenes de admisión, específicamente para el razonamiento matemático, verbal y abstracto, a través de simulacros y material. Sin embargo, no en todos los casos realizan realimentación, por lo cual el estudiante no puede identificar fácilmente por qué falló lo que podría generar frustración en el proceso de aprendizaje.
- Programa del MEP, “El maestro en casa”, sitio web con prácticas interactivas, en este caso, el estudiante no recibe retroalimentación de sus resultados y no está presente el acompañamiento en el proceso de aprendizaje.

1.4. Preguntas de Investigación

1. ¿Qué casos de éxito existen a nivel internacional sobre el uso de los STI aplicados a la enseñanza de la matemática, particularmente al décimo año?
2. ¿Qué prácticas derivadas del anterior uso podrían ser aplicables al caso de Costa Rica?
3. ¿Cuáles son las habilidades matemáticas indispensables que todo estudiante de décimo año en Costa Rica debería tener?
4. ¿Cuáles de estas habilidades se podrían fortalecer mediante un STI?
5. ¿Cuáles son las características y expectativas que debe tener un STI para la enseñanza-aprendizaje de la matemática a nivel de décimo año?

6. ¿Existe un STI ya desarrollado que se pueda aplicar de manera gratuita en Costa Rica? En caso contrario, ¿cómo se podría utilizar otras aplicaciones TIC educativas de libre acceso para emular un STI?
7. ¿Cómo se podría evaluar el uso del STI a ser implementado en el Colegio Humanístico Costarricense?
8. ¿Qué conclusiones y recomendaciones se pueden obtener de la evaluación del prototipo para su mejoramiento?

1.5. Objetivos

Como se explicó en la sección de propósito, el objetivo general de este trabajo es:

Implementar un sistema de tutoría inteligente (STI) que coadyuve a la formación de habilidades matemáticas en los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

Para lograr el objetivo general de esta investigación se plantean los siguientes objetivos específicos, los cuales están apoyados en las preguntas de investigación antes planteadas:

1. Identificar experiencias exitosas en el uso de STI en la formación de habilidades matemáticas de estudiantes de secundaria que puedan relacionarse con el décimo año en Costa Rica, con el fin de determinar mejoras prácticas que puedan ser aplicables para este proyecto.
2. Determinar las habilidades matemáticas y las características que debe tener un STI para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas para los estudiantes de décimo año en Costa Rica.

3. Diseñar la arquitectura de un STI que contemple las características, expectativas antes identificadas, y que considere el uso de herramientas computacionales disponibles y de uso libre.
4. Implementar un prototipo mínimo viable del STI, con base en el diseño antes realizado, para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en décimo año para el Colegio Humanístico Costarricense.
5. Evaluar la efectividad del prototipo implementado, con base en criterios preestablecidos y con la ayuda de los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.
6. Proponer mejoras para este sistema y recomendaciones para su uso en otros centros educativos, así como de ser posible en otros niveles de la educación secundaria en el país.

2. Marco Teórico

2.1. Introducción

En este capítulo se profundizan aquellos conceptos/constructos que son indispensables para llevar a cabo este proyecto de investigación.

En la primera parte se aborda el concepto de habilidades matemáticas. Se explican tanto las habilidades definidas por el Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (conocido en inglés como PISA), como las definidas en el programa de matemáticas del Ministerio de Educación Pública (MEP). Posteriormente, se explica sobre los STI, su definición, características, componentes, ventajas y desventajas y las experiencias internacionales en las cuales se han aplicado en la educación secundaria. Finalmente, se describen los STI de uso libre encontrados para la enseñanza de las matemáticas en secundaria.

2.2. Competencia matemática

2.2.1. Competencia matemática a nivel mundial

La competencia matemática para el PISA 2015 (OCDE, 2017) es definida como la capacidad que tiene el estudiantado para interpretar, formular y emplear las matemáticas en contextos reales. Por otro lado, el MEP (2012), define la competencia matemática como la capacidad para entender y actuar en los diversos contextos reales, resaltando la relación de los entornos físicos y socioculturales, dando lugar al planteamiento y resolución de problemas matemáticos.

Según OCDE (2017) las competencias matemáticas fundamentales empleadas en el PISA son:

- Comunicación: la capacidad del estudiantado para percibir la existencia de un problema, reconocerlo y entenderlo.
- Matematización: la capacidad de transformar un problema del contexto real en un problema matemático.
- Representación: la capacidad para representar situaciones matemáticas mediante gráficos, cuadros, diagramas, imágenes, ecuaciones, fórmulas y materiales concretos.
- Razonamiento y argumentación: el uso de procesos de pensamiento y razonamiento lógico para explorar y conectar elementos que permitan resolver un problema.
- Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico: capacidad de comprender, interpretar, manipular y utilizar expresiones y operaciones aritméticas. También supone la comprensión y utilización de constructos formales basados en definiciones, reglas y sistemas formales, así como el uso de algoritmos con estas entidades.
- Utilización de herramientas matemáticas: conlleva el conocimiento de las diferentes herramientas que permite ayudar a resolver un problema y comunicar los resultados.

Para efectos de la evaluación de la competencia matemática que se realiza en PISA, el principio de la prueba es plantear problemas en diferentes contextos o situaciones para abarcar temas de problemas de cantidad, espacio y forma, cambio y relaciones y, probabilidad. Los problemas matemáticos que se plantean están situados en diferentes contextos o situaciones (OCDE, s.f.).

2.1.2. Competencias/Habilidades matemáticas del III Ciclo de la educación costarricense

En el programa de estudio de matemáticas elaborado por el MEP (2012) se planean cinco contenidos matemáticos que se abordarán desde primaria hasta finalizar secundaria, lo que varía en cada nivel es el desarrollo de las habilidades alrededor de estos contenidos, los cuales son: números, medidas, geometría, relaciones y álgebra y, por último, estadística y probabilidad. Además, de manera transversal se encuentran los procesos matemáticos: razonar y argumentar, plantear y resolver problemas, comunicar, conectar y representar.

El programa de matemáticas está desarrollado y abordado por ciclos de la educación costarricense: I Ciclo (de primero a tercer año), II Ciclo (de cuarto a sexto año), III Ciclo (sétimo a noveno año) y Educación Diversificada (décimo y undécimo). En el caso específico del décimo año, el cual es objeto de esta investigación, se encuentra dentro de la Educación Diversificada y abarca el primer nivel del mismo. Como lo menciona el MEP (2012) este ciclo es el momento oportuno para fomentar la concientización que tiene el estudiantado sobre la utilidad de las matemáticas en los diversos contextos de la vida y en las diferentes materias.

Sin embargo, para efectos de fortalecer los conocimientos de los estudiantes de décimo año, el STI estará trabajando las habilidades planteadas en el tercer ciclo con el objetivo de contribuir en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, el tercer ciclo tiene una particularidad, y es que el contenido matemático de medidas se trabaja de manera transversal en los otros contenidos, mediante el uso de problemas que aparecen en las otras áreas, es decir, se busca su presencia como una dimensión que sustente objetivos de contextualización (los objetos medibles), así como el refuerzo de oportunidades para el desarrollo de objetivos curriculares en esas áreas. Por

otro lado, es importante considerar que, en los niveles del tercer ciclo, se aborda el mismo propósito de enseñanza por contenido matemático, lo que varía en cada nivel es el grado de dificultad de los problemas. A continuación, en la Tabla 2.1 se plantea el abordaje de los contenidos matemáticos del ciclo:

Tabla 2.1.

Habilidades Matemáticas de la educación del tercer ciclo del currículo del MEP y su relación con PISA

MEP			PISA
Contenido matemático	Propósito de enseñanza	Procesos relevantes	Capacidades matemáticas
Números	Desarrollar la habilidad de utilizar los números reales en cualquiera de sus representaciones, que elabore estrategias para realizar cálculos con ellos y que plantee y resuelva problemas en diversos contextos en los que se involucren estos números (p. 275).	-Representación -Soluciones racionales e irracionales	Representación Matematización Comunicación Razonamiento y argumentación Utilización de herramientas matemáticas.
Geometría	Profundizar el conocimiento de propiedades de las figuras geométricas, introducir el estudio básico de la trigonometría y ampliar la capacidad de abstracción y razonamiento matemático. (p.301).	-Plantear y resolver problemas -Razonar y argumentar	Razonamiento y argumentación Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico. Utilización de herramientas matemáticas.

			Representación
Relaciones y álgebra	Desarrollar habilidades para trabajar con relaciones y funciones matemáticas básicas, profundizar su comprensión de la noción de variable y del lenguaje algebraico, la manipulación adecuada de expresiones algebraicas, reconocer y aplicar modelos matemáticos sencillos que involucren las relaciones de proporcionalidad, y las funciones lineales y cuadráticas. (p. 328).	- Resolver y plantear problemas.	Representación Matematización Comunicación Razonamiento y argumentación Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico. Utilización de herramientas matemáticas.
Estadística y probabilidad	Reforzar en las y los estudiantes las habilidades adquiridas en Primaria para identificar e interpretar la información que se genera en el entorno y así tener evidencia que permita resolver un problema y justificar esa respuesta ante la clase. Promueve utilizar los principios básicos de probabilidad para controlar las intuiciones sobre el azar y resolver problemas asociados con éstos.	- Favorecer una cultura en la comprensión de la información que rodea a cada estudiante, esto le permitirá apreciar la utilidad de la disciplina y el disfrute de plantear y resolver problemas en estas áreas. -Identificar y usar modelos, simular situaciones de la vida cotidiana por medio de	Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico. Utilización de herramientas matemáticas. Razonamiento y argumentación Representación Matematización Comunicación

		representaciones gráficas o tabulares o la determinación de medidas de estadísticas para llevar a cabo una adecuada interpretación del fenómeno en estudio.	
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Elaboración propia, basado en el plan de estudios de matemáticas (MEP, 2012; OCDE, 2017)

2.4. Sistemas de Tutoría Inteligente

2.4.1. Definición de un STI

Wolf (1984, como se cita en Cataldi y Lage, 2009, p. 2) define los STI como: “sistemas que modelan la enseñanza, el aprendizaje, la comunicación y el dominio del conocimiento del especialista y el entendimiento del estudiante sobre ese dominio”.

Para Arias et al (2009), los STI son “sistemas computacionales que están diseñados para impartir instrucción y apoyar inteligentemente los procesos de enseñanza aprendizaje mediante la interacción con el alumno” (p. 156).

También, como lo señala Pappas y Drigas (2016) son sistemas de software integrados y complejos que aplican los principios y métodos de la inteligencia artificial (IA) a los problemas y necesidades de la enseñanza y el aprendizaje. Permiten buscar modelos del nivel de conocimiento de los estudiantes y utilizan estrategias de aprendizaje para aumentar o corregir el conocimiento de los estudiantes. Se basan en el desarrollo e

implementación de métodos y técnicas de inteligencia artificial (IA), y sobre esa base el contenido y el método de enseñanza de presentaciones de temas pueden ajustarse a las capacidades individuales de los estudiantes.

La IA surge con el fin de simular el comportamiento del ser humano para responder a las diversas necesidades de la sociedad. Depende en gran medida de las nuevas tecnologías presentadas en el campo de la informática, por el aporte que este tiene para simular la inteligencia humana (Badaro et al. 2013; Khan et al., 2021).

Ocaña-Fernández et al. (2019) indican que la IA promete contribuir a la mejora sustancial de la educación en todos sus niveles, proporcionando a la población estudiantil un aprendizaje personalizado, según sus necesidades educativas, todo ello a través de la implementación de las tecnologías digitales, tecnologías de la información y la comunicación y mediante las diversas interacciones humanas.

2.4.2. Características de un STI

Los STI (Sistemas Tutores Inteligentes), según Cataldi y Lage (2009) permiten:

La emulación de un tutor humano para determinar qué enseñar, cómo enseñar y a quién enseñar a través de un módulo del dominio: que define el dominio del conocimiento, un módulo del estudiante: que es capaz de definir el conocimiento del estudiante en cada momento, un módulo del tutor: que genera las interacciones de aprendizaje y finalmente la interfaz con el usuario: que permite la interacción del estudiante. A través de la interacción entre los módulos básicos, los STI son capaces de juzgar lo que sabe el estudiante y cómo va en su progreso, por lo que la enseñanza, se puede ajustar según las necesidades del estudiante, sin la presencia de un tutor humano (p. 1).

Los sistemas de tutoría inteligentes (STI), a diferencia de los métodos de aprendizaje tradicional, tienen la posibilidad de que los estudiantes puedan realizar actividades de aprendizaje de forma autónoma, personalizada con la opción de adaptar el aprendizaje según las necesidades específicas de cada estudiante y esto permite que el proceso de enseñanza-aprendizaje se pueda adecuar al ritmo de estudio de forma individual (Arias et al., 2009). Por otro lado, Giraldo y Ordoñez (2015) mencionan que los STI logran un aprendizaje personalizado, siempre y cuando puedan conocer las necesidades y las características de cada uno de los estudiantes.

Los STI ofrecen un ambiente interactivo que está diseñado para el aprendizaje individual y se distingue de los otros tipos por su capacidad para modelar el estado cognitivo del usuario, permitiendo brindar consejos sensibles al contexto y retroalimentar en todos los pasos de un proceso de aprendizaje (Graesser et al., 2005).

Durango y Pascuas (2015), hacen referencia a las generaciones por las que han pasado los STI como es el caso de la primera generación que estaba enfocada en tutores basados en restricciones, la segunda en tutores basados en modelos cognitivos y por último la tercera generación de tutores basados en diálogo-lenguaje natural.

Por otro lado, desde los STI se puede generar un modelo de planificación instruccional, fundamentado según el nivel de conocimiento de cada estudiante. Este modelo es basado en la teoría de planificación de la Inteligencia Artificial (IA) y en la estructura de cursos adaptativos. Arias et al. (2009), mencionan y explican los tipos de adaptación, aspectos a considerar para el diseño e implementación de un STI, la planificación instruccional y las técnicas de planificación instruccional.

Además, los STI se han utilizado ampliamente en varios contextos educativos. Particularmente, se han diseñado varios sistemas informáticos que se centran en

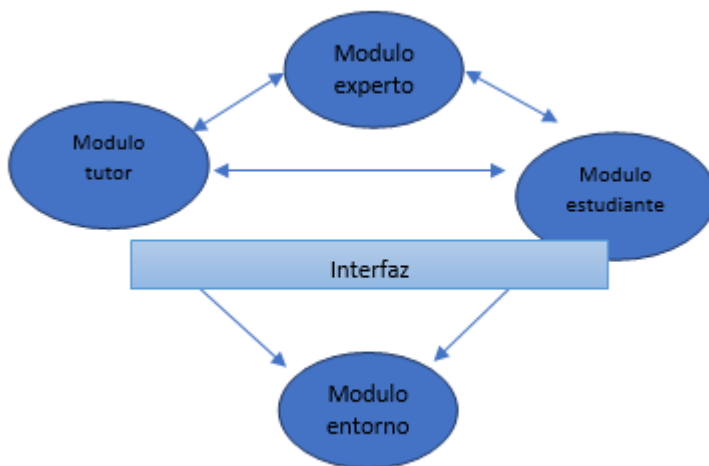
cuestiones prácticas relacionadas con algunos aspectos de la matemática como la aritmética y/o el álgebra. La resolución de problemas es uno de los aspectos que se podrían trabajar mediante el STI (Arevalillo-Herráez y Marco-Giménez, 2013). En relación con el párrafo anterior, Olmo-Muñoz et al. (2023) mencionan que un STI orientado a la resolución de problemas debe ser capaz de evaluar el proceso de solución, esto quiere decir sistemas basados en pasos, y no solo el resultado en el resultado final (sistemas basados en respuestas), e identificar aspectos relevantes de las acciones que realizan los estudiantes, con el fin de describir sus fortalezas y debilidades en el contenido matemático que le ocupa.

2.4.3. Componentes de un STI

Un STI se compone de una arquitectura de 4 módulos como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1.

Interacción de los módulos de un STI



Fuente: Adaptado de Giraldo y Ordoñez (2015) y Dašić (2016).

Según Durango y Pascuas (2015); Cataldi y Lage (2009); Arias et al. (2009); Dašić (2016); Giraldo y Ordoñez (2015), los módulos en la figura anterior se pueden describir de la siguiente manera:

1. Modulo del experto: es el conocimiento que se debe dominar (tópicos del tema que serán enseñados), el cual es introducido en el sistema, representando el conocimiento del experto en el tema y las características de la resolución de problemas asociados.
2. Modulo del estudiante: su función es capturar el entendimiento que posee el estudiante sobre el tema trabajado en el módulo experto.
3. Modulo tutor o tutorial: contiene las estrategias tutoriales e instrucciones indispensables. El propósito principal de este módulo es reducir la diferencia del conocimiento entre el experto y el estudiante.
4. Módulo entorno: gestiona la interacción de los otros componentes del sistema y controla la interfaz usuario/computador.

Adicionalmente, Giraldo y Ordoñez (2015) se refiere a las interfaces de un STI:

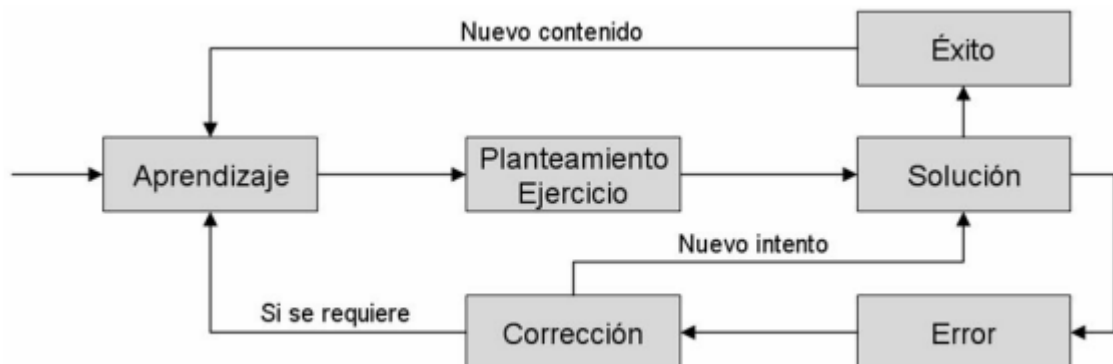
1. Interfaz tutor-usuario: presenta tanto al docente como al estudiante las interfaces con las que van a interactuar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, para llevar a cabo “conexión del usuario, encuestas, retroalimentación, revisiones después de la acción, diálogos interactivos, presentación del material de aprendizaje y evaluaciones tanto de desempeño como de manejo de la plataforma de aprendizaje” (p. 569)
2. Interfaz del Usuario: en esta interfaz aparecen los datos históricos de cada estudiante asociado a su proceso de aprendizaje.

3. Interfaz de cursos: es aquella con la cual los docentes elaboran el curso, así como preparan los insumos de aprendizaje.
4. Aplicaciones de aprendizaje: en esta parte se encuentran los objetos de aprendizaje asociados al STI para la consecución de los objetivos de aprendizaje. Los mismos son sugeridos por el STI a partir del estilo de aprendizaje y del desempeño del estudiante en el transcurso del curso.
5. Interfaz de conexión: conecta las aplicaciones de aprendizaje con el módulo del experto.
6. Reportes: se muestran los avances y las mejoras que se han obtenido con la utilización de la herramienta de aprendizaje por parte de los estudiantes, motivándolos a continuar para lograr los objetivos propuestos para cada curso.

Por otro lado, Reyes y De la Ossa (2008), plantean como un componente más del STI, el diseño de una red semántica, ya que, como se muestra en la Figura 2.2, el proceso de aprendizaje dentro de un STI es iterativo y secuencial y esto ocurre con cualquier tema que se quiera abarcar.

Figura 2.2.

Estados de aprendizaje en un STI



Fuente: Reyes y De la Ossa (2008, p. 12)

2.4.4. Ventajas y desventajas de un STI

La implementación de STI en el aprendizaje tiene una serie de ventajas, según los autores (Amela, 2010; Arevalillo-Hernández et al., 2013; Cataldi y Lage, 2009; Durango y Pascuas, 2015; Graesser et al., 2005; Pappas y Drigas, 2016; Reyes y De la Ossa, 2018; Rodríguez, 2021; VanLehn, 2011) y se mencionan a continuación

- Permiten el acompañamiento al estudiantado en su proceso de enseñanza-aprendizaje, a través de comentarios (positivos, neutrales y negativos), impulsando al alumnado a obtener más información o a dar la milla extra, mediante actividades como completar palabras o información faltante brindando pistas.
- Faculta la identificación y corrección de las malas respuestas y en caso de ser necesario replican a las preguntas de los estudiantes, realizando un resumen de todas las respuestas.
- Posibilita el flujo de enseñanza-aprendizaje, por medio de la escalabilidad del conocimiento, puesto que el aprendizaje puede ir de menor a mayor dificultad y permite la posibilidad de que el estudiante se devuelva cada vez que considere necesario y hasta que el mismo considere que le queda claro.
- Permiten preparar al estudiantado para que cubra la lista de los contenidos curriculares, corrigiendo los conceptos y acciones erróneas que se manifiestan en el proceso de enseñanza-aprendizaje, brindando retroalimentación y respondiendo de manera adaptativa a las necesidades de la población estudiantil.
- Otro beneficio es que en el proceso de enseñanza-aprendizaje los estudiantes tienen libertad en la toma de decisiones, sin necesidad de que el docente tenga que

estar presente. Se señala que esta libertad no afecta el proceso de aprendizaje, por el contrario, puede aumentar el nivel cognitivo del tema trabajado.

- Favorece el acompañamiento en las acciones del estudiante, logrando determinar el estado actual del proceso de aprendizaje, brindando soluciones adaptativas en tiempo real y la elaboración de un modelo de estudiante personalizado.
- Los STI podrían ser más económicos que pagar a un estudiante la tutoría humana individualizada, esto es contar con un maestro en casa.
- Permiten incorporar, según sea su diseño un modelo de estudiante que se ajusta con precisión mediante la supervisión de la interacción de cada alumno. Este modelo contiene información sobre la competencia del estudiantado en el uso de ciertos esquemas conceptuales y su competencia en la aplicación, con el fin de adaptar los mensajes de retroalimentación de acuerdo con el conocimiento actual del usuario y la etapa del proceso de resolución.
- Posibilita el uso de las pruebas adaptativas computarizadas, que son herramientas que se implementan para el diagnóstico del estudiante, es decir, detectan sus falencias, para así proceder a tomar decisiones para mejorar el proceso de aprendizaje.
- Favorece la presentación de materiales educativos de forma flexible. Además de brindar retroalimentación y sugerencias en el paso a paso durante el proceso de resolución de problemas, es decir, guían procesos complejos de resolución de problemas matemáticos.
- Reducen el exceso de carga de trabajo que sufren los docentes.
- Apoyan el aprendizaje tanto dentro como fuera del aula.
- Sirven de ayuda para detectar el progreso de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

- Facilita la flexibilización de los horarios de estudio, sin necesidad de requerir mayor recurso humano y logrando que el alumnado lleve su propio ritmo en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Algunas posibles desventajas que puede tener el uso de STI en la enseñanza, según Akyus (2020); Jia y Miao (2021); Olmo-Muñoz et al. (2023) son:

- Fomentar el aislamiento social, ya que los estudiantes se pueden acostumbrar a interactuar más con el STI, que con el mismo docente o compañeros.
- Propiciar una disminución en las habilidades de comunicación del estudiantado, ya que el contar con STI puede inhibir a los estudiantes de su participación en clases.
- La falta de identificación del lenguaje corporal de los estudiantes, ya que el STI no tiene cómo identificar las emociones del estudiantado. Aunque, se han desarrollado herramientas para disminuir esto, no son 100% certeras.
- Costo de implementación, el desarrollar un STI puede generar costos elevados a las instituciones y puede que aumente la brecha educativa.
- Algunos STI solo utilizan sistemas basados en respuestas, lo que no permite hacer un análisis completo de los procesos de resolución de problemas que llevan los estudiantes.
- No todos los STI permiten la traducción de las diversas tareas y procesos que realizan los estudiantes, esto debido a la separación existente entre el contenido declarativo y procedimental.
- Los STI, podrían limitar el grado de libertad durante los procesos de resolución de problemas.

2.4.5. Experiencias internacionales de la aplicación de STI en educación

A continuación, se describen estudios encontrados en la búsqueda bibliográfica, relacionados con la aplicación de STI a nivel internacional.

Cataldi y Lage (2009) presentan la incorporación de un STI en Argentina para la enseñanza de la comprensión de asignaturas básicas. En su estudio mencionan que el STI permite a los estudiantes mejorar su rendimiento en las materias, fortaleciendo así el proceso de enseñanza-aprendizaje brindando un acompañamiento personalizado. Mencionan que para lograr esto es necesario la elaboración de estrategias claras y el conocimiento de las necesidades de los estudiantes.

De este estudio se deduce que los STI se puede diseñar de tal forma que sean adaptables a las necesidades educativas de cada alumno. Sin embargo, es importante contar con infraestructura tecnológica que permita el uso de estos sistemas como: red interna, Internet, servidor con capacidades computacionales suficientes, entre otros. Los autores presentan como reto que el STI pueda cambiar su forma de interactuar, según las necesidades que posee cada estudiante.

Arnau et al. (2013) describen la experiencia en España sobre el diseño de un STI que es capaz de rastrear las acciones del usuario y proporcionar una supervisión adecuada durante la resolución. El sistema refuerza el aprendizaje metacognitivo, que se basa principalmente en una reflexión de los pasos que debe seguir un estudiante para resolver un problema de forma algebraica y el uso de una notación específica de dominio para representar tanto la estructura del problema como el estado actual del proceso de resolución. Además, apoya la forma aritmética y algebraica de resolver problemas, permite la recurrencia a una o más ecuaciones, determina la validez de las expresiones cuando se

introducen y admite la incorporación de nuevos problemas sin necesidad de reprogramación.

Jia y Miao (2021) describen la experiencia en el uso del STI Lexue 100, utilizado en la enseñanza de matemáticas durante la pandemia de COVID-19 en una escuela secundaria en la provincia de Shandong, China. Mediante este sistema, los docentes proporcionaron a los estudiantes asignaciones diferenciadas que incluían asignación de temas, asignación de trabajo grupal e individual, así como conjuntos de errores.

En Pensilvania, Estados Unidos, King et al. (2021) propusieron la aplicación de un STI durante la pandemia COVID-19, para ayudar a los estudiantes de primaria que tenían dificultades para aprender en línea de forma independiente y también brindar apoyo a los padres de familia o encargados legales para ayudar a los estudiantes en su proceso de enseñanza-aprendizaje. Los autores solo estuvieron enfocados en las matemáticas, ya que según con otros estudios, es de las asignaturas más complejas y difíciles, y la matemática es importante de aprender. En este caso se utilizó la herramienta Unified Modeling Language (UML) en forma de diagramas de casos de uso, permitiendo describir el diagrama del modelo de base de datos. Además, el contenido se creó utilizando la herramienta de autoría de tutor cognitivo (CTAT), desarrollada por Carnegie Mellon University.

Los autores anteriores hacen hincapié en que aún están en fases de prueba y están consiente que se deben añadir otros aspectos e ir agregando más tecnología de inteligencia artificial. Sin embargo, señalan como lograron agilizar y simplificar el desarrollo del STI, mediante el uso del sistema CTAT.

Hixson (2012) evaluó el impacto de la iniciativa de preparación para álgebra de la escuela intermedia, conocida por sus siglas en inglés MSARI, el cual se implementó en los dos distritos escolares de West Virginia. Estos distritos escolares utilizaron el STI de

MATHia® de Carnegie Learning y el currículo de clase que lo acompaña como un reemplazo total del currículo estándar de matemáticas para los grados 6, 7 y 8. Los maestros de estas escuelas fueron capacitados por Carnegie Learning en el uso del programa MATHia, mediante una serie de academias de profesores de matemáticas. En los resultados no se vio un impacto significativo en el aprendizaje de los estudiantes, sin embargo, el autor menciona que esto puede deberse a dos razones: primero, que la evaluación no estaba diseñada para evaluar el software ni el currículo de matemáticas, como tales, y segundo que no contaban con información detallada sobre el grado en que el programa se implementó con fidelidad en las aulas.

En España, recientemente los autores Olmo-Muñoz et al. (2023), exponen el uso de un STI para la enseñanza de las matemáticas, específicamente en temas como la resolución de problemas verbales, puesto que es una de las habilidades que más requieren de supervisión y retroalimentación por parte de los docentes. En esta investigación los autores hacen un análisis de HINTS (Hypergraph-based Intelligent Tutoring System), sistema basado en pasos con una granularidad. Este STI, permite a los estudiantes resolver problemas verbales tanto aritmética como algebraicamente, es capaz de validar las acciones que realiza el estudiante de acuerdo con la ruta de resolución elegida y el estado del proceso de resolución, además, brinda recomendaciones de acuerdo con la ruta de solución que este llevando el estudiante. Adicionalmente, los autores realizaron una evaluación de la eficacia de HINTS en un entorno de aprendizaje autónomo remoto, teniendo como resultado: la supervisión de los padres fue lo que hizo la diferencia entre los estudiantes que asistieron y los que no, los que los llevó a concluir que es importante que antes de implementar un STI se realice una evaluación de necesidades. Como principal conclusión, mencionan que el uso de un STI con una granularidad fina, podría ser una solución potencial para la educación matemática en general.

Por último, Huang et al. (2021) investigaron los efectos de los agentes pedagógicos en la aceptación de los STI por parte de los estudiantes en China. Este estudio se realizó con estudiantes de secundaria, que fueron reclutados para utilizar un STI que se incorporó como agente pedagógico en su proceso educativo para aprender matemáticas durante un período de nueve días. Los resultados revelaron que la utilidad percibida por los estudiantes tuvo el mayor efecto en sus intenciones de utilizar el STI. Además, la presencia social del agente pedagógico tiene un efecto significativo sobre la utilidad percibida por los estudiantes. En esta investigación, se implementó el STI como un sistema de tareas. Mientras los estudiantes hacen la tarea en el sistema, el agente pedagógico le ofrecerá una retroalimentación inmediata sobre la exactitud de las respuestas. Si las respuestas de los estudiantes son incorrectas, el agente pedagógico proporcionará el proceso de resolución de preguntas, con el paso a paso. Según este estudio, los agentes pedagógicos permiten al STI imitar de manera más efectiva el proceso de tutoría humana.

2.5. Software de uso libre disponible para implementar STI

A continuación, se presentan herramientas encontradas en la literatura de uso libre que permiten crear STI.

2.5.1. Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT)

Según Carnegie Mellon University (2023), este tipo de herramientas permite a los profesionales con pocos conocimientos en programación, crear tutores cognitivos. Estos tutores, según se menciona, permiten brindar mayor orientación a los estudiantes a medida que resuelven problemas y brindan apoyo en tiempo real. La herramienta permite trabajar

la resolución de problemas sencillos y complejos con los estudiantes en su proceso propiamente de tutoría.

Por otro lado, Alevén et al. (2006) en su artículo mencionan que el CTAT tiene como propósito cumplir dos objetivos: permitir que el desarrollo de tutores sea más eficiente, tanto para los profesionales de programación, como para aquellos que no son programadores y como segundo objetivo, desarrollar evidencia científica que apoye que el uso de esta herramienta podría permear la eficacia. Además, en esta herramienta se pueden desarrollar dos tipos de tutores: el cognitivo y el de seguimiento de ejemplos, ambos con sus propias ventajas y desventajas en términos de creación y generalidad.

2.5.2. MathDox

Este software fue elaborado en los Países Bajos por Eindhoven University of Technology, cual se actualizó por última vez en 2012. Cohen et al. (s.f.) presentan una descripción de este, donde mencionan que el potencial del software es demostrar algoritmos, comprobar habilidades mediante ejercicios prácticos, cálculos dinámicos o explicar nuevos conceptos.

MathDox combina la interactividad existente de las páginas web con el poder de los cálculos matemáticos, lo que da como resultado matemáticas interactivas. En este artículo se menciona que en su momento el software no se encontraba óptimo, ya que no posee una noción de contexto y agregar esto, ampliaría considerablemente las capacidades de MathDox, ya que, permitiría realizar un seguimiento del nivel de habilidad, preferencias y el historial del estudiantado. Así como, adaptar el contenido y las anotaciones. En el momento en que se desarrolló este documento se mencionó que las investigaciones para mejorar el Software estaban en camino.

Por otra parte, Cuypers y Knopper (2012) presentan la historia de MathDox, el cual surge como formato de documento interactivo y se trabajaba mediante Moodle, que es un sistema de gestión de aprendizaje. Posteriormente, desde la misma Eindhoven University of Technology desarrollaron su propia herramienta llamada MathDox Select, que permitía crear fácilmente el modelo del conjunto de elementos que componen los contenidos básicos, conocido como SCORM básicos a partir de la base de datos de ejercicios de la herramienta. Para efectos de MathDox un SCORM son archivos HTML con metadatos junto con archivos en JavaScript.

2.5.3. Aplusix Web

Essonier y Nicaud (2016), indican que Aplusix Web fue diseñado por la empresa Aristod, para ayudar al estudiantado en la enseñanza de álgebra en los campos de los números reales y complejos. El sistema, permite la evaluación de los ejercicios mostrando la retroalimentación inmediata a los estudiantes y docentes, con la ventaja que se puede utilizar en tabletas, smartphones y computadoras que cuenten con conexión a Internet.

Los autores mencionan que el software es una aplicación web, esto quiere decir que se ejecuta únicamente en el navegador. Como parte de las mejoras desde Aristod crearon una herramienta de autoría EpsilonWriter, la cual tiene como finalidad crear, publicar y ejecutar recursos en matemáticas y ciencias. Los recursos se guardan directamente en un servidor desde la aplicación (como en la computación en la nube) y se pueden usar de inmediato en todas partes. Según señalan en este documento para el futuro se plantean mejoras como: permitir que se registren las acciones detalladas del trabajo del estudiantado, con el objetivo que el docente pueda dar mayor seguimiento del aprendizaje de sus estudiantes.

Para finalizar, es importante mencionar que la empresa Aristod, cesó sus actividades en abril de 2019, por la falta de interés que despertaron estas herramientas en la comunidad. Sin embargo, el autor principal de este desarrollo Jean-Francois Nicaud, las mantiene a disposición de los usuarios.

2.5.4. Dr.Geo

Como se menciona en GNU (2019), Dr. Geo es un sistema abierto interactivo que pretende facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Además, se puede utilizar en los diversos niveles de la educación general básica y está para servir a docentes y estudiantes. En el caso de secundaria el software viene con un conjunto de herramientas que permiten que el estudiante aprenda geometría de forma interactiva, mediante la transformación central y axial. Además, Darkcrist (s.f., párr. 7), señala que “está equipado con comandos para medir las longitudes y amplitudes de los ángulos que nos permiten verificar empíricamente la validez de muchas proposiciones elementales”.

Para finalizar, en las mejoras realizadas al sistema se encuentra la inclusión del modo compartir, que permite a la comunidad compartir por red local los trabajos.

2.6. Resumen

Con base en el análisis y estudio bibliográfico realizado en este marco teórico sobre habilidades matemáticas, como se observa en la Tabla 2.1, las habilidades definidas por el MEP, en su programa de matemáticas de Educación Diversificada (décimo y undécimo), se puede identificar la relación directa con las habilidades que identifica PISA, las cuales son: comunicación, matematización, representación, razonamiento y argumentación, utilización de operaciones y de lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico, y por último, uso de las herramientas matemáticas. Además, se logró analizar la definición que utiliza el MEP de habilidades matemáticas y su similitud con la proporcionada por PISA en el año 2015,

que para efectos de este proyecto esa será con la que se trabajará, como se muestra en la sección 2.2.1, ellos las definen como la capacidad que tiene el estudiantado para interpretar, formular y emplear las matemáticas en contextos reales.

Por otro lado, quedó visibilizada la cantidad de beneficios que tiene la implementación de un STI en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en los que se resaltan los siguientes: aprendizaje flexible, escalado y personalizado, el seguimiento y acompañamiento en tiempo real del proceso del estudiante, la disminución de la carga laboral de los docentes y, por último, que podrían ser más económicos. También, se señalan las características principales que debe tener un STI, como: la interactividad, tutores basados en diálogo de lenguaje natural y el aprendizaje autónomo.

Asimismo, es importante aclarar que como quedó reflejado en la sección 2.2. la implementación de un STI en la literatura no se plantea como sustitución a la asesoría que brinda el docente en cada una de sus clases, si no como una herramienta de apoyo y complemento en el proceso de enseñanza-aprendizaje para reforzar y evaluar el conocimiento de los estudiantes.

También, a lo largo de este marco teórico se pudo demostrar la aplicabilidad de los STI para la enseñanza de las matemáticas, encontrando que se han diseñado varios que se centran en cuestiones prácticas relacionadas con la aritmética, geometría y álgebra e identificando que la resolución de problemas es uno de los aspectos que se podrían trabajar mediante un STI.

Por esta razón, se identificaron diferentes herramientas de uso libre que permiten el desarrollo de un STI, cada uno de ellos con características particulares. Las herramientas encontradas son las siguientes:

- Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT), desarrollado por la Carnegie Mellon University y está creado para que personas con pocos conocimientos en programación puedan desarrollar un STI.
- MathDox, desarrollado por Eindhoven University of Technology, es una herramienta que permite la interactividad.
- MATHia, desarrollado por Carnegie Learning
- Aplusix Web, desarrollado por Jean-Francois Nicaud, para ayudar al estudiantado en la enseñanza de álgebra.
- DrGeo, desarrollado por Hilaire Fernandes, para la enseñanza interactiva de la geometría.

En este análisis se observa que una opción de software importante a considerar para llevar a cabo este proyecto es el STI desarrollado por la Carnegie Mellon University, ubicada en Pensilvania. Esta institución es destacada por su centro de investigación superior en ciencias de la computación y robótica en Estados Unidos. Sin embargo, en el siguiente capítulo se hará un análisis más profundo de cada una de las herramientas encontradas en este marco.

3. Marco Metodológico

En este capítulo se presenta el marco metodológico utilizado para el desarrollo de este proyecto. En la primera parte se abordará el marco de referencia que provee la investigación basada en las ciencias del diseño conocida como DSR, por sus siglas en inglés. Posteriormente, se describe la población, las etapas y cada una de las actividades desarrolladas en el proceso de esta investigación.

La población se definió a nivel general para toda la investigación y luego por cada actividad se seleccionó la muestra adecuada. Asimismo, para cada una de las actividades se presenta su propósito, los procesos de recolección de datos, los instrumentos utilizados, el análisis de los datos y los resultados generados.

3.1. Investigación basada en las ciencias del diseño

Para este proyecto se utilizó la metodología la investigación basada en las ciencias del diseño (DSR), debido a que se pretende desarrollar un artefacto innovador, el cual es un STI para los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

Esta metodología enfatiza la conexión entre el conocimiento y la práctica, ya que permite mostrar que se puede producir conocimiento al mismo tiempo que se pueden diseñar cosas que son útiles (Wieringa, 2009).

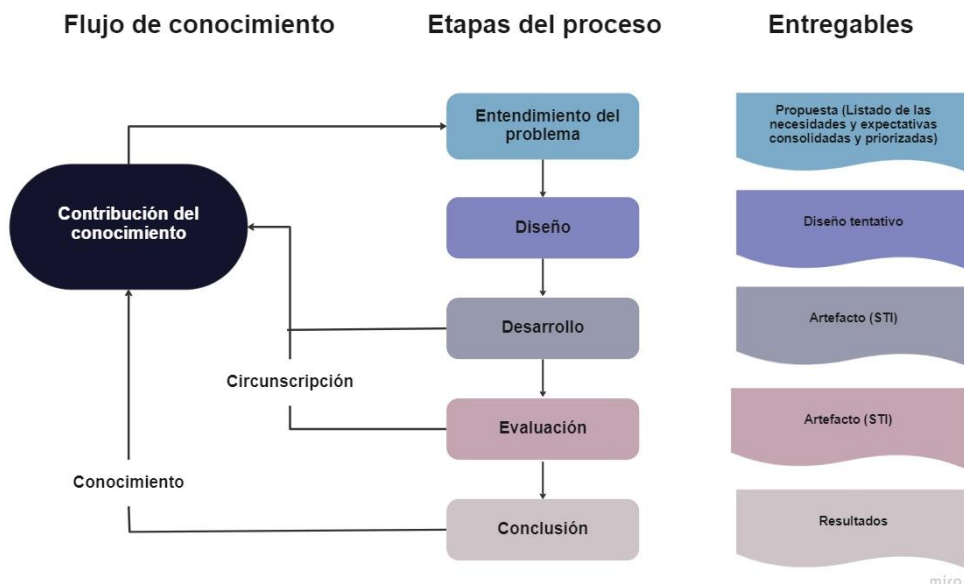
Olsina et al. (2020) menciona que la DSR es un “enfoque de investigación riguroso que propone la construcción de artefactos para brindar una solución útil y efectiva a un problema de un dominio dado. El artefacto debe ser una solución innovadora a un problema no trivial” (p. 20). Además, los autores mencionan algunas características importantes del DSR, como lo son:

- Las actividades de diseño-construcción-evaluación iteran las veces que sean necesarias antes que el artefacto esté verificado, validado y comunicado.
- El artefacto creado debe ser evaluado, con el fin de demostrar que, si resuelve el problema y, además, lo hace de manera efectiva y eficiente, brindando utilidad al usuario
- En las diferentes etapas del DSR, los usuarios del artefacto pueden participar, lo que permite crear soluciones adaptables a las necesidades y expectativas reales de los usuarios finales.

Para implementar esta metodología es preciso llevar a cabo 5 etapas, las cuales son: entendimiento del problema, diseño, desarrollo, evaluación y conclusión. Para ello, Vaishnavi y Kuechler (2015) proponen el modelo que se muestra en la siguiente figura:

Figura 3.1.

Fases de la metodología DSR y sus entregables



Fuente: Elaboración propia a partir de lo propuesto por Vaishnavi y Kuechler (2015)

A continuación, se muestra la relación de cada una de las etapas con este proyecto de investigación:

En la etapa inicial de entendimiento del problema, se realizaron varias actividades que tenían como resultado el ahondar sobre el planteamiento preliminar del problema que se presenta en el capítulo 1, permitiendo obtener un listado detallado de las necesidades y expectativas consolidadas y priorizadas que se contemplaron para el desarrollo del STI.

En la segunda etapa se encuentra el diseño, en el cual se planteó una solución al problema. En el caso de esta investigación, se especificaron las funcionalidades y contenidos que brinda el STI para satisfacer las principales necesidades y expectativas antes identificadas.

La tercera etapa de la DSR es el desarrollo, el cual implicó la implementación del diseño propuesto, pero con un alcance adecuado a las condiciones de tiempo y recursos con los cuales se contó, delimitando a los componentes del diseño que debería tener un prototipo o un producto mínimo viable.

En la cuarta etapa se realizó una evaluación del prototipo desarrollado, con el objetivo de determinar su efectividad en la solución del problema identificado en esta investigación.

Por último, se encuentra la etapa de conclusiones con respecto a los resultados de la evaluación, para lo cual se señalaron recomendaciones para el mejoramiento del diseño propuesto, o para replantear este diseño, si así fuera necesario.

3.2. Población

Para esta investigación se contó con la participación de los estudiantes y docente de matemáticas de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense, así como de expertos en matemáticas y en pedagogía digital.

Por lo anterior, se especifican las poblaciones utilizadas, cuyo rol en este proyecto se detalla a continuación:

- Expertos en enseñanza de las matemáticas, pedagogía y diseño instruccional, seleccionados a partir de una muestra por conveniencia, para lo cual se contó con 2 especialistas en matemáticas y una en pedagogía y 2 en diseño instruccional. Para un total de 5 expertos.
- Docente de matemática de secundaria del Colegio Humanístico Costarricense, como usuario final del STI.
- Estudiantes de secundaria del Colegio Humanístico Costarricense, como usuarios finales del STI, se contó con la participación de 25 estudiantes los fueron una muestra por conveniencia.

3.3. Etapas de la investigación

Como se mencionó anteriormente, la DSR se divide en cinco etapas que son entendimiento del problema, diseño, desarrollo, evaluación y conclusiones y cada una de estas etapas está compuesta por una serie de actividades, que se realizaron para alcanzar los objetivos específicos establecidos en la investigación.

En la Figura 3.2. se detalla el flujo de actividades que se llevaron a cabo en este proyecto.

Figura 3.2.

Flujo de actividades en la metodología DSR



Fuente: elaboración propia

A continuación, se describen las etapas de la figura anterior y sus correspondientes actividades.

3.3.1. Entendimiento del problema

Reiterando lo antes explicado, el propósito fundamental de esta investigación es implementar una propuesta de STI, considerando sus componentes principales, los cuales en conjunto pretenden apoyar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

Para profundizar el entendimiento del problema, y con base en la metodología, se plantearon las siguientes actividades:

Actividad 1: Identificación de las características de un STI considerando las experiencias internacionales de implementación de estos sistemas en la enseñanza de las matemáticas a nivel de secundaria.

Propósito: Revisión y análisis a profundidad de las características de los STI implementados para la enseñanza de las matemáticas en décimo año existentes a nivel internacional.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: se analizaron artículos y estudios encontrados en la literatura.

Recolección de datos: se utilizó artículos encontrados al realizar un análisis bibliográfico utilizando las bases de datos disponibles en la UNA.

Análisis de datos: se realizó un análisis por parte de la investigadora de los anteriores artículos particularmente para identificar las características que poseen los STI y son de interés para esta investigación.

Producto generado: Listado de características que poseen los STI y explicación de las experiencias internacionales existentes en el área de matemáticas en secundaria. Este producto se incluyó como parte del marco teórico (ver sección 2.4.2 y 2.4.5).

Actividad 2: Identificación de las habilidades matemáticas planteadas en el programa del MEP, que pueden ser desarrolladas en un STI de acuerdo con su definición.

Propósito: Identificación y análisis de las habilidades matemáticas planteadas en el programa de matemáticas del MEP y su relación con las establecidas por el Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés), y cómo éstas se pueden implementar en un STI, considerando las experiencias internacionales antes estudiadas.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: programa detallado de matemática desarrollado por el MEP y la información obtenida de la actividad 1.

Recolección de datos: actividad desarrollada de manera independiente por la investigadora

Análisis de datos: resumen de las habilidades matemáticas que se trabajan en III Ciclo, considerando el programa del MEP, particularmente aquellas que se encuentran relacionadas con las características de los STI y tomando en consideración las habilidades señaladas por PISA, como forma de homologación a nivel internacional.

Producto generado: listado detallado de las áreas de conocimiento, propósitos de enseñanza y habilidades matemáticas que se trabajarán en el STI.

Actividad 3: Determinación de las necesidades y expectativas a implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense

Propósito: Identificación de las necesidades y expectativas que se quieren implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: se contó con la participación del docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense.

Recolección de datos: se realizó una entrevista con el único docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense, utilizando como base los resultados de la actividad 2. La guía para esta entrevista se puede consultar en el Anexo 1.

Análisis de datos: se realizó una sistematización de información recolectada en la entrevista con el docente del Colegio Humanístico Costarricense.

Producto generado: listado priorizado de las necesidades y expectativas que se desean implementar por el Colegio Humanístico Costarricense en el STI.

3.3.2. Diseño

Actividad 4: Diseño de la arquitectura de contenido tentativa del STI.

Propósito: Diseño de una posible arquitectura preliminar de contenidos para el STI, con base en el listado de las necesidades y expectativas consolidadas y priorizadas y las características encontradas en los STI identificados.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: en esta actividad la investigadora realizó el trabajo de forma independiente, por tal motivo no se utilizó muestra.

Recolección de datos: en esta actividad no se realizó recolección de datos específicamente, sin embargo, se utilizó la información recolectada en la actividad 3.

Análisis de datos: la investigadora a partir de los resultados de la actividad 3 realizó una propuesta de arquitectura de contenidos específicos.

Producto generado: Tabla detallada con las áreas de conocimiento priorizadas en la actividad 3, conocimientos y habilidades específicas, procesos matemáticos y tipos de ejercicios.

Actividad 5: Validación de la arquitectura de contenido tentativa del STI

Propósito: Validación del diseño tentativo del STI creado en la actividad anterior con ayuda de un panel de expertos, con el fin de realizar los ajustes necesarios para obtener la arquitectura de contenidos a ser utilizada en el STI.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: se utilizó una muestra por conveniencia como se menciona en la sección 3.2, la cual cuenta con tres docentes de matemáticas de secundaria, entre ellos el docente del Colegio Humanístico Costarricense, dos expertos en diseño instruccional y una experta en pedagogía.

Recolección de datos: se realizó un grupo focal con el panel de expertos antes mencionado, facilitada por la investigadora. En esta sesión se revisó la tabla con la arquitectura propuesta detallando las áreas de conocimiento, conocimientos y habilidades específicas, procesos matemáticos y tipos de ejercicios, preparada en la actividad anterior. Además, se discutieron las diferentes necesidades a las que se enfrentan los docentes de matemáticas de secundaria para enseñar estos conocimientos.

Análisis de datos: se realizó un análisis del diseño creado en la actividad anterior, las opiniones y cambios sugeridos.

Productos generados:

- Listado de los cambios que se deben realizar al diseño tentativo.

Actividad 6: Diseño final de la arquitectura de contenido del STI

Propósito: Diseño final de la arquitectura del STI, con base en las modificaciones y recomendaciones planteadas en la actividad 5.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: en esta actividad la investigadora realizó el trabajo de forma independiente, por tal motivo no se utilizó muestra. Sin embargo, se utilizó el listado de cambios obtenidos en la actividad 5.

Recolección de datos: en esta actividad no se realizó recolección de datos, sin embargo, se utilizó la información recolectada en la actividad 5.

Análisis de datos: la investigadora a partir de la actividad 5 realizó la arquitectura final de contenidos del STI.

Productos generados:

- Listado de las recomendaciones realizadas por el panel de expertos.
- Tabla con las áreas de conocimiento priorizadas, conocimientos y habilidades específicas, procesos matemáticos y tipos de ejercicios que se utilizarán finalmente en el STI.

3.3.3. Desarrollo

Actividad 7: Selección de software para el desarrollo del prototipo.

Propósito: Selección de la herramienta que se va a utilizar para el desarrollo del STI. Para esto, se analizaron las opciones existentes de uso libre identificadas en el marco teórico

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: en esta actividad la investigadora realizó el trabajo de forma independiente, por tal motivo no se utilizó muestra. Sin embargo, se utilizó la información obtenida sobre los STI de uso libre en el marco teórico.

Recolección de datos: en esta actividad no se realizó recolección de datos, sin embargo, se utilizó la información de la sección 2.5, se utilizó el Chat GPT para obtener más información sobre cada uno de los sistemas y, por último, se consultaron los sitios web de cada uno de los STI.

Análisis de datos: la investigadora a partir de la sección 2.5 del marco teórico, realizó un análisis de las características que poseen los STI seleccionados, considerando categorías que pueden ser claves.

Productos generados: cuadro con las características del software seleccionado, según criterio establecido.

Actividad 8: Delimitación del alcance del prototipo.

Propósito: Delimitación del alcance que contiene el prototipo del STI creado en este proyecto.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: se utilizó el panel de expertos que participó en la actividad 5 descrita en la sección 3.3.2.

Recolección de datos: en esta actividad la investigadora creó una propuesta con la delimitación con base el diseño final de la arquitectura realizado en la actividad 6, los expertos mediante una actividad realizada en Miro priorizaron los contenidos en una escala del 1 al 6, para las dos áreas de conocimiento priorizadas en la actividad 3.

Análisis de datos: se determinó los conocimientos específicos que se van a incluir en la propuesta de STI.

Productos generados: listado de los los conocimientos específicos priorizados resultantes de la votación.

Actividad 9: Definición de criterios de evaluación del prototipo.

Propósito: definición de criterios de evaluación que fueron utilizados para determinar la efectividad del prototipo creado.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: se utilizó como base el artículo realizado por Mata y Hernández-Ruiz (2019).

Recolección de datos: actividad desarrollada de manera independiente por la investigadora.

Análisis de datos: se generó un listado de criterios mediante el conocimiento técnico del investigador apoyado de un artículo de investigación sobre el tema.

Productos generados: listado de los criterios de evaluación aplicables al prototipo desarrollado.

Actividad 10: Desarrollo del prototipo del STI

Propósito: Esta actividad incluyó las labores de instalación, y configuración de las herramientas seleccionadas. Para la validación técnica y de contenido del desarrollo se realizaron pruebas con el docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense Erick Pizarro, el docente y tutor de este trabajo Francisco Mata y el especialista en matemáticas Ronny Gamboa. Posterior a las pruebas realizadas se realizaron los ajustes solicitados por cada uno de ellos.

En esta actividad también se agregó contenido básico al prototipo creado, este contenido fue obtenido por medio de la investigación en diferentes fuentes de información.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: en esta actividad no se requirió muestra debido a que la investigadora realizó la ejecución de forma independiente. Sin embargo, para la creación de los ejercicios se utilizaron los libros de Ministerio de Educación del Ecuador (2018a, 2018b), Publicaciones Porras y Gamboa (2017) y Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (2019). En el caso de los videos fueron tomados de Gómez (2023, 2021, 2018, 2016a, 2016b).

Recolección de datos: para esta actividad se utilizaron los datos recopilados de las actividades anteriores.

Análisis de datos: no se realizó análisis de datos.

Productos generados: prototipo de STI para los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

3.3.4. Evaluación

Actividad 11: Evaluación del desempeño del prototipo

Propósito: En esta actividad se realizó una evaluación de desempeño del prototipo.

Para esta actividad se planteó la siguiente metodología:

Muestra o fuente de información: Se utilizó la participación de los 25 estudiantes del 10-1 del Colegio Humanístico Costarricense.

Recolección de datos: para esta actividad se creó un cuestionario cerrado como instrumento y utilizó una versión digital de dicho instrumento para la recolección de datos.

Análisis de datos: la investigadora recopiló y analizó las respuestas de la encuesta para medir el grado de usabilidad del prototipo con relación a la solución del problema.

Productos generados: cuadro tabulado con el resultado de las evaluaciones realizadas al prototipo desarrollado.

3.3.5. Conclusiones y recomendaciones

Para las conclusiones de la investigación y con base en la metodología, se plantearon las siguientes actividades:

Actividad 12: Conclusiones y recomendaciones con base en la síntesis de la evaluación

Propósito: Generar conclusiones y recomendaciones con base en la síntesis de la evaluación, con el propósito de que sean aplicadas posteriormente en el desarrollo completo del STI.

Para esta actividad se definió la siguiente metodología:

Muestra: en esta actividad no se utilizó muestra debido a que el trabajo lo realizó la investigadora de forma independiente.

Recolección de datos e instrumentos: para esta actividad se utilizaron los datos de las actividades anteriores.

Análisis de datos: se realizó una síntesis de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación y con base en esta información se generaron las conclusiones y recomendaciones para ajustar y continuar con el desarrollo del STI.

Producto generado: informe de conclusiones del proyecto.

4. Entendimiento del problema

El entendimiento del problema, como se explicó en la sección 3.1.1, es la etapa inicial de la metodología DSR. La misma permite profundizar la comprensión del problema. Con el fin de profundizar el entendimiento del problema, y con base en la metodología propuesta en el Capítulo 3, se desarrollaron tres actividades:

La primera actividad (ver sección 3.3.1), consistió en un análisis de las diferentes experiencias detalladas en la literatura sobre los STI utilizados a nivel internacional para la enseñanza de las matemáticas. Esto dio como resultado la identificación de las características que deben poseer los STI.

La segunda actividad (ver sección 3.3.1), consistió en la identificación de las áreas y habilidades matemáticas planteadas en el programa de matemáticas del Ministerio de Educación Pública, elaborado en el 2012. Esto dio como resultado la generación de un listado detallado de las áreas de conocimiento, propósitos de enseñanza y habilidades matemáticas que se trabajarán en el STI.

La tercera actividad (ver sección 3.3.1), consistió en la determinación de las necesidades y expectativas a implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense. Esto dio como resultado la creación de un listado priorizado de las necesidades y expectativas que se quieren implementar en el STI.

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron de la ejecución de las actividades antes mencionadas:

4.1. Identificación de las características de un STI considerando las experiencias internacionales de implementación de estos sistemas en la enseñanza de las matemáticas a nivel de secundaria

Como se explicó en la sección 3.1, esta actividad tuvo como propósito la revisión y análisis a profundidad de las características de los STI implementados para la enseñanza de las matemáticas en décimo año existentes a nivel internacional.

Para lograr este fin, se realizó un análisis para identificar según las experiencias internacionales sobre STI en matemáticas las características, los componentes y sus principales ventajas y desventajas. Esta actividad fue realizada como parte del marco teórico. Por lo tanto, los resultados se describen en las secciones 2.4.2 Características de un STI, y 2.4.5 Experiencias internacionales de la aplicación de STI en educación.

4.2. Identificación de las habilidades matemáticas planteadas en el programa del MEP, que pueden ser desarrolladas en un STI de acuerdo con su definición

En esta sección se describe el análisis e identificación de las habilidades matemáticas planteadas en el programa de matemáticas del MEP en III Ciclo y su relación con las establecidas por PISA y cómo éstas se pueden implementar en el STI, según las experiencias internacionales.

Como se explica en la sección 3.3.1 para cumplir con el propósito de esta investigación fue necesario identificar las áreas de conocimientos, conocimientos específicos, propósito de enseñanza, procesos relevantes y la homologación de los procesos con las capacidades matemáticas según PISA, según se detalla en la Tabla 4.1. Para esta actividad se utilizó como principal fuente de información el programa de matemáticas del Ministerio de Educación Pública y la información recolectada en la actividad 1 (ver sección 4.1).

Tabla 4.1.

Contenido matemático detallado, según el programa de matemáticas del MEP

MEP			PISA	
Área de conocimiento	Conocimiento específico	Propósito de enseñanza	Habilidades	
Números	<ul style="list-style-type: none"> -Números naturales -Teoría de números -Números enteros - Operaciones, cálculos y estimaciones -Números racionales - Operaciones, cálculos y Estimaciones - Números reales - Cálculos y Estimaciones -Cantidades muy grandes y muy pequeñas 	<p>Desarrollar la habilidad de utilizar los números reales en cualquiera de sus representaciones, que elabore estrategias para realizar cálculos con ellos y que plantee y resuelva problemas en diversos contextos en los que se involucren estos números (p. 275).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicar y argumentar -Representación gráfica en la resolución de problemas -Matematización -Reconocimiento de patrones 	<p>Representación Matematización Comunicación Razonamiento y argumentación Utilización de herramientas matemáticas.</p>
Geometría	<ul style="list-style-type: none"> -Conocimientos básicos -Visualización espacial -Ángulos -Triángulos -Cuadriláteros 	<p>Profundizar el conocimiento de propiedades de las figuras geométricas, introducir el estudio básico de la trigonometría y ampliar la capacidad de abstracción y razonamiento matemático. (p.301).</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Plantear y resolver problemas -Razonar y argumentar -Comunicar -Representación 	<p>Razonamiento y argumentación Comunicación Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> -Geometría analítica -Transformaciones en el plano -Visualización espacial -Trigonometría -Geometría del espacio 			Utilización de herramientas matemáticas. Representación
Relaciones y álgebra	<ul style="list-style-type: none"> -Sucesiones -Relaciones -Representaciones -Funciones -Expresiones algebraicas -Ecuaciones 	Desarrollar habilidades para trabajar con relaciones y funciones matemáticas básicas, profundizar su comprensión de la noción de variable y del lenguaje algebraico, la manipulación adecuada de expresiones algebraicas, reconocer y aplicar modelos matemáticos sencillos que involucren las relaciones de proporcionalidad, y las funciones lineales y cuadráticas. (p. 328).	<ul style="list-style-type: none"> - Resolver y plantear problemas. -Representación. 	Representación Matematización Comunicación Razonamiento y argumentación Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico. Utilización de herramientas matemáticas.
Estadística y probabilidad	<ul style="list-style-type: none"> -Estadística -Conocimientos básicos -Recolección de información -Frecuencia -Representación 	Reforzar en las y los estudiantes las habilidades adquiridas en Primaria para identificar e interpretar la información que se genera en el entorno y así tener evidencia que permita resolver un problema y justificar esa respuesta ante la clase.	<ul style="list-style-type: none"> -Conectar -Representar -Comunicar -Razonar y argumentar -Resolver y plantear problemas. 	Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico. Utilización de herramientas matemáticas.

	<ul style="list-style-type: none"> -Medidas de posición -El azar -Espacio muestral -Eventos -Probabilidad -Reglas básicas de probabilidad -Variables cuantitativas -Distribuciones de frecuencia -Muestras aleatorias -Probabilidad frecuencial 	<p>Promueve utilizar los principios básicos de probabilidad para controlar las intuiciones sobre el azar y resolver problemas asociados con éstos.</p>		<p>Razonamiento y argumentación Representación Matematización Comunicación</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--------------------------------------------------------------------------------------------

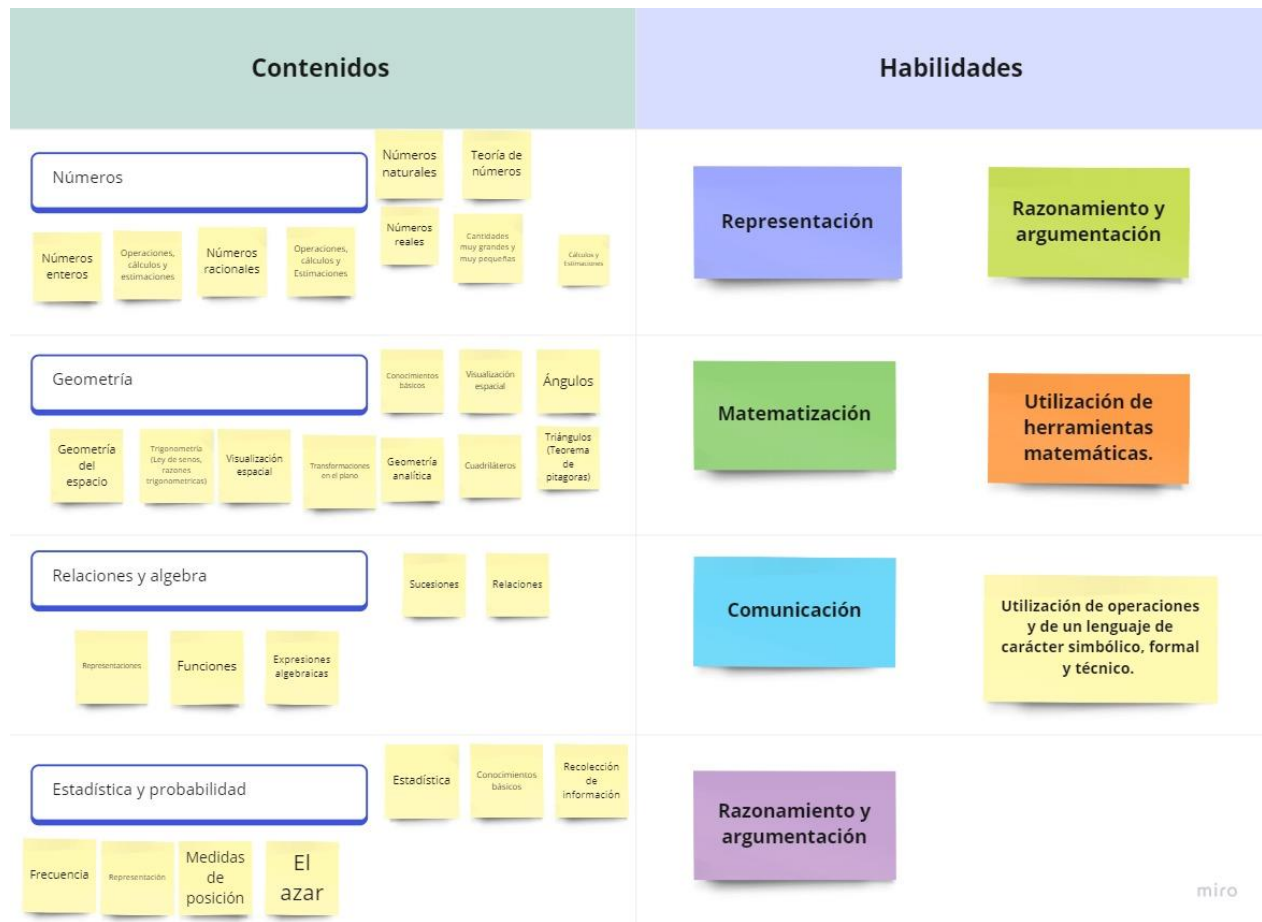
Elaboración propia, basado en el plan de estudios de matemáticas (MEP, 2012; OCDE, 2017)

4.3. Determinación de las necesidades y expectativas a implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense

Como se explicó en la sección 3.3.1, esta actividad tuvo como propósito la identificación de las necesidades y expectativas que se quieren implementar en el STI para la enseñanza de las matemáticas en décimo año del Colegio Humanístico Costarricense. Para ello fue necesario, realizar una entrevista al docente de matemáticas Erick Zumbado del Colegio Humanístico Costarricense, cuya guía se presenta en el Anexo 1. Esta sesión se dividió en tres partes. La primera parte consistió en presentarle y explicarle al docente la Figura 4.1, la cual muestra la asociación de las áreas de conocimiento, los contenidos del programa de matemáticas de III Ciclo del MEP y las habilidades matemáticas mencionadas en PISA haciendo homologación con las determinadas por el MEP. La segunda parte, se realizó con el fin de priorizar los contenidos antes mencionados, cuyo resultado se muestra en la Figura 4.2 y. Por último, se realizaron las preguntas que se muestran en la guía presentada en el Anexo 1.

Figura 4. 1.

Contenido y habilidades matemáticas del III Ciclo de la educación costarricense



miro

Nota. Elaboración propia a partir de programa de matemáticas (MEP, 2012)

Como resultado de la priorización realizada por el docente, se generó el listado priorizado que aparece en la Figura 4.2, donde se reflejan las áreas de conocimiento más prioritarias, seguidas por los conocimientos específicos que se consideran importantes a trabajar y las habilidades, según la realidad que vive el docente con los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico.

Figura 4. 2.

Contenido y habilidades matemáticas priorizadas por el docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense

Nivel de prioridad	Contenidos	Habilidades
Alta	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Relaciones y algebra</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray;">Ecuaciones</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray;">Expresiones algebraicas</div> </div>	<div style="background-color: #92d050; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Razonamiento y argumentación</div> <div style="background-color: #66b3ff; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Representación (geometría analítica)</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray; margin-top: 10px;">Utilización de operaciones y de un lenguaje de carácter simbólico, formal y técnico.</div>
Media	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Geometría</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray; margin-bottom: 5px;">Triángulos (Teorema de pitagoras)</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray; margin-bottom: 5px;">Trigonometría (Ley de senos, razones trigonométricas)</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid gray;">Geometría analítica</div> </div>	<div style="background-color: #76c73a; padding: 10px; text-align: center; margin-top: 20px;">Matematización</div>
Media baja	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 20px;">Números</div>	<div style="background-color: #f4a460; padding: 10px; text-align: center; margin-top: 20px;">Utilización de herramientas matemáticas.</div>
Baja	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 20px;">Estadística y probabilidad</div>	<div style="background-color: #4dc0f5; padding: 10px; text-align: center; margin-top: 20px;">Comunicación</div>

miro

Nota. Elaboración propia como resultado de la actividad 4.3

Asimismo, el docente a partir de las preguntas que se le hicieron en la guía, ver anexo 1, mencionó lo siguiente:

- Si fuera posible, sería importante añadir una guía de explicación, previo a que los estudiantes realicen los ejercicios matemáticos.
- Es importante que el STI brinde realimentación para cada uno de los pasos necesarios para resolver un problema, ya que la mayoría de los sistemas solo

indican si está bien o mal o en todo caso dan realimentación únicamente sobre el resultado final.

- Por último, es importante que los ejercicios, principalmente de geometría puedan ser apoyados de imágenes como los ofrecidos por Geogebra¹ y que de la posibilidad de añadir videos explicativos.

¹ Software matemático gratuito y de código abierto que combina características de geometría, álgebra, cálculo y gráficos en una única plataforma.

5. Diseño

La fase del diseño como se explica en la sección 3.3.2 consistió en el desarrollo de tres actividades. La primera correspondió a hacer una propuesta de diseño del STI con los contenidos y tipos de ejercicios, tomando en cuenta las necesidades y funcionalidades detectadas en las actividades presentadas en el capítulo anterior.

La segunda actividad consistió en la validación de la anterior propuesta. Esto se realizó mediante un grupo focal con en el objetivo de hacer una revisión de esta propuesta para adaptarla y/o mejorarla, y así obtener el diseño definitivo.

La tercera actividad consistió en analizar las mejoras planteadas en la actividad de validación para posteriormente presentar el diseño definitivo.

Para efectos de diseño del STI, tanto el preliminar como el definitivo, se utilizó una tabla para colocar detalladamente el contenido de área matemática de geometría y expresiones algebraicas.

5.1. Diseño de la arquitectura de contenido tentativa del STI

Como se explicó en la sección, 3.3.2, el propósito de esta sección fue desarrollar un diseño preliminar de arquitectura de contenidos para el STI, con base en el listado de las necesidades y expectativas consolidadas y priorizadas y las características encontradas en los STI identificados en las secciones anteriores. Este diseño preliminar se realizó mediante una tabla organizada por áreas de conocimiento, conocimientos específicos, habilidades específicas, y el proceso matemático que responde a las competencias matemáticas que el estudiante fortalece. La Tabla 5.1 presenta los resultados de esta actividad, los cuales fueron preparados por la investigadora,

utilizando la información obtenida de las actividades anteriores y del programa de matemáticas de III Ciclo del MEP, como se indicó anteriormente. Esta tabla cuenta con las siguientes partes:

- Área matemática: a partir de la actividad 4.3 se seleccionaron dos áreas matemáticas que son geometría y relaciones y álgebra.

Geometría: “refiere al estudio de las características de las figuras geométricas y las relaciones entre ellas, la modelización geométrica y la visualización espacial, que permiten potenciar los procesos de visualización, clasificación, construcción y argumentación” (MEP, 2012, p. 21).

Relaciones y álgebra: “refiere a varios temas como el estudio de patrones y relaciones de distinto tipo (numéricas, geométricas), las funciones (vistas como relaciones entre variables), así como al manejo de expresiones y relaciones simbólicas, ecuaciones e inecuaciones, como medio de potenciar procesos de generalización y simbolización” (MEP, 2012, p. 21).

Tabla 5.1.

Diseño preliminar arquitectura de contenidos para el STI

RELACIONES Y ÁLGEBRA (Área matemática)				
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Habilidades específicas	Proceso matemático	Tipos de ejercicios
Expresiones algebraicas	Concepto de expresión algebraica	Identificar una expresión algebraica.	Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación	Selección única. Desarrollo (Complete) Identificación
	Valor numérico	Utilizar leyes de potencias para la simplificación de expresiones algebraicas. Determinar el valor numérico de una expresión algebraica.		
	Monomios -Monomios Semejantes -Operaciones con monomios -Factor numérico y factor literal Polinomios -Operaciones con polinomios	Reconocer monomios semejantes. Efectuar operaciones con monomios: suma, resta, multiplicación y división. Clasificar expresiones en monomios, binomios, trinomios y polinomios de más de tres términos.		Identificación Desarrollo (Complete) Selección múltiple

		Sumar, restar y multiplicar polinomios.	
	Productos notables	Utilizar productos notables para desarrollar expresiones algebraicas.	Selección única Complete
Ecuaciones	<p>Ecuaciones del primer grado con una incógnita (despejar)</p> <p>-Solución de una ecuación</p> <p>-Cero de una función</p> <p>-Raíz de una ecuación</p>	<p>Identificar la diferencia entre una expresión algebraica y una ecuación.</p> <p>Comprobar si un número dado es solución de una ecuación.</p> <p>Reducir una ecuación a otra que es equivalente a ella.</p> <p>Plantear y resolver problemas en contextos reales, utilizando ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p> <p>Relacionar una ecuación de primer grado con una incógnita de la forma $ax + b = c$ con la función lineal cuya representación algebraica es $y = ax + b$.</p>	<p>Identificación</p> <p>Desarrollo (Complete)</p> <p>Planteamiento de problemas en contexto real.</p>

		Resolver ecuaciones algebraicas fraccionarias que se reducen a ecuaciones del primer grado con una incógnita. Resolver ecuaciones de primer grado con una incógnita.		
	Ecuaciones literales	Resolver ecuaciones literales para una de las letras.		Desarrollo (Complete)
	Ecuaciones de segundo grado con una incógnita -Raíces -Discriminante	Plantear y resolver problemas utilizando ecuaciones de segundo grado con una incógnita Resolver ecuaciones que se reducen a ecuaciones de segundo grado con una incógnita.		Identificación Complete
GEOMETRÍA (Área matemática)				
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Habilidades específicas	Proceso matemático	Tipos de ejercicios
Geometría analítica	Ejes cartesianos	Representar puntos y figuras geométricas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.	Representación Plantear y resolver problemas	Planteamiento de problemas en contexto real.

	Representación de puntos	Determinar algebraicamente el punto medio de un segmento.	Razonamiento y argumentación	Identificación de Imágenes Resolución de problemas Presentar problema con contexto y que el saque el punto medio para ubicar.
	Representación de figuras	Ubicar puntos en el interior y en el exterior de figuras cerradas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.		Identificación de Imágenes
Triángulos	Teorema de Pitágoras (Despejar)	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de problemas en diferentes contextos. Encontrar la distancia entre dos puntos en el plano cartesiano, aplicando el teorema de Pitágoras.		Complete Selección única
Trigonometría	Razones trigonométricas de	Aplicar los conceptos de ángulos de elevación y		Planteamiento de problemas en contexto real.

	ángulos complementarios	<p>depresión en diferentes contextos.</p> <p>Resolver problemas que involucren las razones trigonométricas, sus propiedades y ángulos de elevación y de depresión.</p> <p>Plantear problemas contextualizados que utilicen razones trigonométricas para su solución.</p>		Complete (Desarrollo)
	Ley de senos	Aplicar la ley de senos en diversos contextos.		<p>Selección única</p> <p>O desarrollo en 2 pasos</p>

- Área de conocimiento: los conocimientos generales de geometría y relaciones y álgebra.
- Conocimiento específico: detalle de conocimientos que se abarcaran dentro de cada área de conocimiento.
- Habilidades específicas: “se plantean para desarrollarse en tiempos relativamente cortos. No se deben ver como capacidades que se tienen o no (u fines logrados o no) sino como expectativas de aprendizaje que se pueden lograr gradualmente. Estas habilidades alrededor de conocimientos se pueden agrupar, de manera que se trabajen de esa manera tanto en la acción de aula como en la evaluación” (MEP, 2012, pp. 24-25).

Razonar y argumentar: Busca desarrollar capacidades para permitir la comprensión de lo que es una justificación o prueba en matemática, para desarrollar y discutir argumentaciones matemáticas, para formular y analizar conjeturas matemáticas, para usar fórmulas o métodos matemáticos que permitan la comprensión o desarrollo de informaciones presentes.

Plantear y resolver problemas: busca potenciar capacidades para identificar, formular y resolver problemas en diversos contextos personales, comunitarios o científicos, dentro y fuera de las Matemáticas.

Representar: busca favorecer la capacidad para elaborar y usar representaciones matemáticas que sirvan en el registro y organización de objetos matemáticos, para interpretar y modelar situaciones propiamente matemáticas, para manipular distintas representaciones de objetos matemáticos

- Proceso matemático: actividades cognitivas (o tipos de actividades) que realizan las personas en las distintas áreas matemáticas y que se asocian a capacidades para la comprensión y uso de los conocimientos. La realización sistemática de estos procesos transversales en la acción de aula apoya el progreso de diversas dimensiones de la competencia matemática

- Tipo de ejercicios: según las características del STI se plantean los tipos de ejercicios que se desarrollarán en el STI, según el conocimiento específico.

5.2. Validación de la arquitectura de contenido tentativa del STI

Esta actividad tuvo como finalidad mostrar los resultados de la actividad 5 (ver sección 3.3.2), cuyo propósito es la validación del diseño de la arquitectura de contenido tentativa del STI mostrado en la sección anterior. Para esta actividad se realizó una entrevista al docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense y un grupo focal, con fin de contar con el criterio experto de docentes de matemática de secundaria, diseñadores instruccionales y una experta en pedagogía.

La entrevista y la sesión de grupo focal se llevaron a cabo el 2 de junio de 2023 y la muestra utilizada para el grupo focal es una muestra por conveniencia como se describe en la sección 3.3.2. y está conformada como lo especifica la Tabla 5.2

Tabla 5.2.

Muestra utilizada en el grupo de enfoque

Tipo de participantes	Cantidad
Docentes de matemáticas de secundaria	1
Diseñadores instruccionales	2
Experta en pedagogía	1

Nota. Elaboración propia

5.2.1. Validación de la arquitectura de contenido tentativa del STI con el docente del Colegio Humanístico Costarricense

La entrevista al docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense Erick Pizarro se realizó el mismo día de la sesión grupal como se indicó anteriormente. Sin embargo, se realizó horas antes con el fin de dar mayor profundidad, según las necesidades específicas que tienen los estudiantes de décimo año, quienes son los usuarios finales del sistema de tutoría inteligente. Para la sesión se utilizó la guía detallada en el anexo 2 “Guía de entrevista para la validación del diseño del STI” y se realizó de la siguiente forma:

- Exposición por parte de la investigadora al docente sobre las categorías trabajadas y analizadas como parte de las necesidades identificadas en la actividad 3 y las características identificadas de los STI en la actividad 1.
- Repaso por parte de la investigadora sobre la actividad que se llevó a cabo para identificar las necesidades del Colegio Humanístico Costarricense y se presentan los resultados.
- Presentación y explicación por parte de la investigadora sobre el diseño preliminar planteado, realizado mediante una tabla y con las categorías expuestas en la sección 5.1.
- Retroalimentación generada por el docente sobre los contenidos específicos y los tipos de actividades.

En la Tabla 5.3 se detallan las recomendaciones realizadas por el docente Erick Pizarro, las cuales sirvieron para mejorar la propuesta preliminar del diseño y considerar otros factores que no se habían considerado inicialmente.

Tabla 5.3.

Recomendaciones para mejorar el diseño de la arquitectura de contenido para e STI

ID	Recomendación
1	Se recomienda eliminar la habilidad específica de clasificar expresiones en monomios, binomios, trinomios y polinomios de más de tres términos, ya que no se identifica como una necesidad en los estudiantes del Colegio Humanístico.
2	Se recomienda eliminar la habilidad específica de relacionar una ecuación de primer grado con una incógnita de la forma $ax + b = c$ con la función lineal cuya representación algebraica es $y = ax + b$, ya que no se identifica como una necesidad en los estudiantes del Colegio Humanístico.
3	Se recomienda eliminar la habilidad específica de resolver ecuaciones literales para una de las letras, ya que no se identifica como una necesidad en los estudiantes del Colegio Humanístico.
4	Se recomienda eliminar los conocimientos específicos de cero de una función y ecuaciones literales, ya que no se identifica como una necesidad en los estudiantes del Colegio Humanístico.
5	Se recomienda utilizar en ejes cartesianos ejercicios donde los estudiantes deban identificar puntos utilizando un mapa o el uso de un plano cartesiano y preferiblemente alrededores del Colegio.
6	Consultar los ejercicios que se muestran en Geogebra ² para que funcionen como referencia para los ejercicios que se planteen en el STI.

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución de la actividad 5.1

² GeoGebra es un software de matemáticas dinámicas libre para todas las áreas de las matemáticas escolares

5.2.2. Validación de la arquitectura de contenido tentativa del STI con grupo de enfoque

La sesión de grupo de enfoque fue facilitada por la investigadora, de la siguiente manera: primero, se realizó la bienvenida a las personas participantes y se les agradeció por el tiempo destinado a esta sesión; segundo, se brindó una pequeña explicación del proyecto que se está ejecutando además de un resumen de la metodología a aplicar y el objetivo de la sesión en la cual estaban participando.

En la sesión se utilizó la guía detallada en el anexo 3 “Guía de planificación para el grupo focal de validación del diseño del STI”. A los participantes se les envió días antes al correo una presentación tipo resumen del proyecto con su objetivo, propósito y justificación y, por último, el objetivo de la dinámica de la actividad, todo ello para que tuvieran mayor contexto y la actividad fluyera con naturalidad. La sesión se realizó de la siguiente forma:

- Exposición por parte de la investigadora a los participantes de las categorías trabajadas y analizadas como parte de las necesidades identificadas en la actividad 3 y las características identificadas de los STI en la actividad 1.
- Explicación por parte de la investigadora sobre la actividad que se llevó a cabo para identificar las necesidades del Colegio Humanístico y se presentan los resultados.
- Demostración por parte de la investigadora sobre un ejemplo de STI y sus características.
- Presentación y explicación por parte de la investigadora sobre el diseño preliminar planteado, realizado mediante una tabla y con las categorías expuestas en la sección 5.1.
- Retroalimentación generada por los participantes del grupo focal sobre los contenidos específicos y los tipos de actividades.
- Retroalimentación generada por los participantes sobre las necesidades identificadas en el Colegio Humanístico.

Las recomendaciones dadas para mejorar la arquitectura de contenidos se enfocaron en los tipos de ejercicios a desarrollar en el STI y en los conocimientos y habilidades específicas que se debían eliminar, ya que los estudiantes del Colegio Humanístico no presentan mayor problema. Al final de la tabla se encuentran tres recomendaciones a nivel general sobre las bases del STI.

Asimismo, estos participantes realizaron una serie de recomendaciones, las cuales se detallan en la tabla 5.4, los cuales sirvieron para mejorar la propuesta preliminar del diseño y considerar otros factores que no se habían considerado inicialmente.

Tabla 5.4.

Recomendaciones para mejorar el diseño de la arquitectura de contenido para e STI

ID	Recomendación
1	Se recomienda eliminar la habilidad específica de relacionar una ecuación de primer grado con una incógnita de la forma $ax + b = c$ con la función lineal cuya representación algebraica es $y = ax + b$, ya que no se identifica como una necesidad en los estudiantes de décimo año.
2	En teorema de Pitágoras se recomienda desarrollar ejercicios donde los estudiantes vayan resolviendo paso a paso o identificando y colocando números.
3	En representación de puntos se recomienda utilizar ejercicios donde los estudiantes deban utilizar la fórmula para identificar puntos medios (puede ser mediante respuesta corta donde se den dos puntos y el punto medio deba ser averiguado).
4	Es necesario que el STI cuente con ejercicios que posean diferentes niveles de dificultad, con el fin de valorar el avance del estudiante a resolver problemas.
5	En general se debe tratar de realizar ejercicios donde los estudiantes deban resolver problemas del contexto real con la finalidad de que puedan hacer un análisis, ya que la

	parte de razonar, analizar y argumentar es de las principales debilidades de los estudiantes.
6	En representación de puntos se recomienda utilizar ejercicios donde los estudiantes deban averiguar uno de los puntos externos, y brindarles la información del punto medio y uno de los puntos externos.
7	Se recomienda delimitar aún más el STI para lograr desarrollar ejercicios donde los estudiantes puedan realizar análisis y donde se vaya subiendo el nivel de dificultad.
8	Es importante que el STI cuente con recursos multimedia, como imágenes y videos, estos últimos para reforzar el conocimiento.

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución de la actividad 5.b

Adicionalmente, los participantes del grupo focal mencionaron recomendaciones generales que podrían ser de gran ayuda para plantear recomendaciones generales al final del proyecto o para considerar en pasos a seguir en caso de que se quiera implementar más adelante en otros centros educativos, que para efectos de este proyecto no están dentro del alcance. Las cuales se especifican a continuación:

- Es importante considerar y que no se pierda de vista que el fin último es mejorar el aprendizaje y no en sí la herramienta, la herramienta es solo el medio para hacerlo.
- Tomar en cuenta las siguientes preguntas ¿Cuánto es el tiempo de consumo del STI? y ¿cómo se pretende que se use y si requiere manual?
- Se recomienda pensar en la usabilidad del STI si se quisiera el día de mañana implementar en otros centros educativos de secundaria, ya que la realidad y el contexto del Colegio Humanístico son totalmente diferentes al resto.

5.3. Diseño final de la arquitectura de contenido del STI, con base en las modificaciones y recomendaciones planteadas

En la siguiente sección se detallan los ajustes realizados al diseño del STI, los cuales incluyen las recomendaciones realizadas por los participantes y explicadas en la sección 5.2 del presente capítulo.

Tabla 5.5.

Diseño final de la arquitectura de contenidos para el STI

RELACIONES Y ÁLGEBRA (Área matemática)					
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Habilidades específicas	Proceso matemático	Tipos de ejercicios	Cambios sugeridos por participantes
Expresiones algebraicas	Concepto de expresión algebraica Valor numérico	Identificar una expresión algebraica. Utilizar leyes de potencias para la simplificación de expresiones algebraicas. Determinar el valor numérico de una expresión algebraica.	Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación	Selección única. Desarrollo (Complete) Identificación	No se realizaron cambios.
	Monomios -Monomios Semejantes -Operaciones con monomios	Reconocer monomios semejantes. Efectuar operaciones con monomios: suma, resta, multiplicación y división.		Identificación Desarrollo (Complete) Selección múltiple	

	-Factor numérico y factor literal Polinomios -Operaciones con polinomios	Sumar, restar y multiplicar polinomios.			trinomios y polinomios de más de tres términos
	Productos notables	Utilizar productos notables para desarrollar expresiones algebraicas.		Selección única Complete	No se realizaron cambios.
Ecuaciones	Ecuaciones del primer grado con una incógnita (despejar) -Solución de una ecuación -Raíz de una ecuación	Identificar la diferencia entre una expresión algebraica y una ecuación. Comprobar si un número dado es solución de una ecuación. Reducir una ecuación a otra que es equivalente a ella.		Identificación Desarrollo (Complete) Planteamiento de problemas en contexto real.	Se elimina el conocimiento específico de cero de una función y la habilidad específica relacionar una ecuación de primer grado con una incógnita de la forma $ax + b = c$ con la función lineal cuya

		<p>Plantear y resolver problemas en contextos reales, utilizando ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones algebraicas fraccionarias que se reducen a ecuaciones del primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p>		<p>representación algebraica es $y = ax + b$</p> <p>Se eliminó el conocimiento de ecuaciones literales y la habilidad de resolver ecuaciones literales para una de las letras.</p>
	<p>Ecuaciones de segundo grado con una incógnita</p> <p>-Raíces</p> <p>-Discriminante</p>	<p>Plantear y resolver problemas utilizando ecuaciones de segundo grado con una incógnita</p> <p>Resolver ecuaciones que se reducen a ecuaciones de</p>	<p>Identificación</p> <p>Complete</p>	<p>No se realizaron cambios.</p>

		segundo grado con una incógnita.			
GEOMETRÍA (Área matemática)					
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Habilidades específicas	Proceso matemático	Tipos de ejercicios	Cambios sugeridos por participantes
Geometría analítica	Ejes cartesianos	Representar puntos y figuras geométricas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.	Representación Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación	Planteamiento de problemas en contexto real. Identificación de puntos (Mapa) apoyado de una imagen plano cartesiano	Se agregó el ejercicio identificación de puntos (Mapa) apoyado de una imagen plano cartesiano.
	Representación de puntos	Determinar algebraicamente el punto medio de un segmento.		Identificación Imágenes Ejercicios de complete donde: Utilicen fórmula para determinar punto medio (Respuesta corta donde se dan dos puntos e	Se agregan los ejercicios: Resolución de problemas (interpretación) Presentar problema con contexto y que deban analizar y

			<p>identificar el punto medio).</p> <p>Dar punto medio y un punto externo para que indagare el otro extremo.</p> <p>Resolución de problemas (interpretación)</p> <p>Presentar problema con contexto y que deban analizar y sacar diferentes datos.</p>	<p>sacar diferentes datos.</p> <p>De complete donde:</p> <p>Utilicen fórmula para determinar punto medio (Respuesta corta donde se dan dos puntos e identificar el punto medio).</p> <p>Dar punto medio y un punto externo para que indagare el otro extremo.</p>
	Representación de figuras	Ubicar puntos en el interior y en el exterior de figuras cerradas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.	Identificación de puntos mediante uso de imágenes	No se realizaron cambios.

Triángulos	Teorema de Pitágoras (Despejar)	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de problemas en diferentes contextos. Encontrar la distancia entre dos puntos en el plano cartesiano, aplicando el teorema de Pitágoras.		Complete (Desarrollar por pasos) Se puede colocar figura y que coloquen el número. Selección única	Se agregó la indicación de desarrollar los ejercicios por pasos y que los estudiantes deban colocar el número en la figura.
Trigonometría	Razones trigonométricas de ángulos complementarios	Aplicar los conceptos de ángulos de elevación y depresión en diferentes contextos. Resolver problemas que involucren las razones trigonométricas, sus propiedades y ángulos de elevación y de depresión.		Planteamiento de problemas en contexto real. Complete (Desarrollo)	No se realizaron cambios.

		Plantear problemas contextualizados que utilicen razones trigonométricas para su solución.			
	Ley de senos	Aplicar la ley de senos en diversos contextos.		Selección única o desarrollo en 2 pasos	

6. Desarrollo

En el siguiente capítulo se presenta el desarrollo del prototipo para el STI para los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense, lo cual corresponde a la tercera etapa de la metodología de investigación DSR. Las siguientes secciones explican los resultados de las actividades planteadas para generar el prototipo del STI propuesto mediante la selección del software a ser utilizado para su desarrollo, la delimitación del alcance para el prototipo, la definición de los criterios de evaluación y la implementación del prototipo.

6.1. Selección de software para el desarrollo del prototipo

La información que se planea en esta sección forma parte del resultado obtenido de la actividad 7 planteada en el marco metodológico de la sección 3.3.3, la cual hace referencia a la selección de software.

Para llevar a cabo el desarrollo de la solución planteada en este proyecto, es necesario contar con herramientas de uso libre que permitan llevar a cabo el diseño y desarrollo del STI. Por esta razón, a lo largo del marco teórico se identificaron diferentes herramientas de uso libre que permitían el desarrollo de un STI, cada uno de ellos con características particulares. Es por ello, que en la Tabla 6.1 se identifican las características principales que se tomaron en cuenta para identificar el software con el que se quiere trabajar en este proyecto.

Para realizar el análisis comparativo de los softwares de uso libre para implementar STI, se utilizaron una serie de categorías/criterios para clasificar a los diferentes softwares para STI encontrados en la literatura:

- Software, y año de actualización y dirección para obtener el software e información de este.
- Institución responsable: lo cual puede ser un indicativo del conocimiento y prestigio de la organización en el ámbito académico y/o tecnológico.
- Tipo de software (uso libre o propietario): para este proyecto se debe utilizar software de uso libre, por asuntos de presupuesto.
- Disponibilidad de uso de español para la Interfaz: componente clave para el usuario final ya que se debe ofrecer en idioma español
- Instalación: en esta categoría se identifica cómo se instala el software, si es mediante la descarga en el ordenador, en servidor o bien en línea.
- Facilidad de instalación y administración: criterio importante pues la investigadora no cuenta con conocimientos en informática.
- Características relevantes: características que hacen al software atractivo de utilizar e implementar, considerando tanto los usuarios finales como a investigadora.
- Facilidad de acceso a la documentación: disponibilidad de documentos claves para la instalación, administración y uso del software.

A partir del análisis comparativo realizado en la Tabla 6.1 se propone trabajar en este proyecto con el STI Cognitive Tutor Authoring Tools desarrollado por la Carnegie Mellon University, por diferentes criterios que se muestran en la tabla como:

- La fecha de actualización, ya que su última actualización fue en 2017. Otros softwares como Aplusix Web o MATHia, son más actuales, sin embargo, Aplaxis Web, que estaba a cargo inicialmente de la Empresa Aristod, cesó

Tabla 6.1.

Análisis de los STI de software libre

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
Cognitive Tutor Authoring Tools (2017) https://bit.ly/3YAtVjL	Carnegie Mellon University	Software de uso libre (Software License Agreement Academic or Non-Profit Organization Noncommercial Research Use Only)	Se puede configurar su interfaz de usuario en español.	Se instala en un ordenador o servidor local ("Stand alone computer")	Instalación, administración y uso parecen ser sencillos. Interesados en desarrollar un STI, lo puedan hacer sin tener conocimientos en informática	Interfaz de usuario amigable. Tiene modelo de tutoría cognitiva. Personalización del aprendizaje. Biblioteca de actividades y problemas matemáticos predefinidos. Permite el acompañamiento a los estudiantes, mediante	La información está alojada en el mismo sitio.

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
						orientaciones y realimentación en tiempo real. Compatible con diferentes plataformas Es flexible.	
MathDox (2012) https://bit.ly/3JyGp74	Eindhoven University of Technology	MathDox License. Esta licencia estaba basada en la Licencia Pública General de GNU (GNU GPL)	Inglés y se puede configurar su interfaz de usuario en español.	Necesita ser instalado en ordenador (“Stand alone computer”)	Es de código abierto. Requiere Ubuntu. Se requiere conocimiento en informática para su instalación.	Interfaz de usuario amigable. Personalización del aprendizaje. Realiza el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes. Permite contenido multimedia.	Toda la información está alojada en el mismo sitio web. Sin embargo, su descarga no es permitida, ya que los enlaces a los diferentes documentos se encuentran rotos.

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
						Biblioteca de recursos educativos que incluye videos, ejercicios, problemas y simulaciones de ciencias y matemáticas	
Aplusix Web (2019) https://bit.ly/3K37nE0	Jean-Francois Nicaud (matemático francés, especializado en el campo de la teoría de números y geometría algebraica)	Software propietario, ofrece una versión gratuita que incluye un número limitado de ejercicios y características.	Se puede configurar en cualquier idioma.	Se puede instalar en el ordenador y/o servidor. ("Stand alone computer" y/o cliente/servidor)	Parece ser fácil de utilizar para instalar, administrar, así como para utilizar.	Personalización de aprendizaje. Permite a los estudiantes crear y resolver ecuaciones y problemas de álgebra. Biblioteca de problemas	Se encuentra toda la información en una sola carpeta descargable.

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
						<p>matemáticos predefinidos.</p> <p>Realiza el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes</p> <p>Retroalimentación inmediata.</p> <p>Herramientas avanzadas de entrada de fórmulas y ecuaciones.</p>	
<p>MATHia (2023)</p> <p>https://bit.ly/3JuLfCn</p>	<p>Carnegie Learning</p> <p>(Empresa ubicada en Pensilvania, Estados Unidos</p>	<p>Software propietario.</p>	<p>Inglés</p>	<p>Es una aplicación que se puede trabajar en línea o bien descargar en dispositivos</p>	<p>Para utilizarlo se requiere alianza o solicitud de permiso.</p>	<p>Retroalimentación inmediata.</p> <p>Personalización de aprendizaje.</p> <p>Variedad de recursos.</p>	<p>No cuenta con manual, para ingresar y ver el recurso es necesario registrarse. El uso de este</p>

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
	dedicada a la creación de soluciones de aprendizaje y enseñanza de las matemáticas para estudiantes de todas las edades)			móviles, tabletas y ordenadores (Nube)		Permite la enseñanza y practica de la resolución de problemas. Contiene tutor virtual. Proporciona informes de progreso detallados.	software está solo para Estados Unidos.
Dr. Geo (2016) https://bit.ly/3ZEEOR	Desarrollado por Hilaire Fernández, profesor francés de matemáticas y programador	Licencia GNU GPL, es una licencia de software de código abierto.	Inglés, se puede configurar al español.	Se trabaja e instala desde el ordenador. ("Stand alone computer")	Interfaz amigable.	Está enfocada en la enseñanza de geometría. Herramientas avanzadas de construcción para generar	Se encuentra la información en un mismo sitio web.

Software y última actualización	Institución responsable	Tipo de licencia	Idioma de interfaz	Instalación	Facilidad de uso para desarrollo	Características principales de funcionamiento	Acceso a la documentación
	de software libre. Actualmente se encuentra como código abierto en GNU.					objetos geométricos. Permite construcciones algebraicas. Construcciones en diferentes formatos. Visualización en 3D.	

Nota. Elaboración propia a partir de los sitios de los software y Open Chat GPT

sus actividades en abril de 2019 y quedó a cargo de Jean-Francois Nicaud, quien lo tendrá a cargo durante un tiempo sin definir y en el caso de MATHIa, es un software propietario lo que dificulta su uso e implementación, ya que se debe pagar suscripción.

- Permite trabajar cualquier contenido matemático a diferencia de la mayoría que se analizaron que están enfocados en álgebra y/o geometría.
- A nivel de diseño es el único que declara que está hecho para personas que no necesariamente sean expertas en programación, ya que eso es un punto a favor considerando que la investigadora no tiene conocimientos en informática.
- Cognitive Tutor Authoring Tools, está respaldado por una institución académica universitaria, al igual que MathDox. Sin embargo, MathDox no se actualiza desde el 2012.

Además, se selecciona Cognitive Tutor Authoring Tools, ya que es el único que permite trabajar con las diferentes áreas de matemáticas como geometría y relaciones y álgebra.

6.2. Delimitación del alcance del prototipo

En esta sección se presentan los resultados de la actividad 8 (ver sección 3.3.3), la cual es la delimitación del alcance del prototipo de STI. Esta actividad se llevó a cabo en la misma sesión de la actividad de validación (ver sección 5.2), en la que participaron 7 personas. Por esa razón, se realizó el 2 de junio de 2023³.

³ Este espacio fue dividido en dos grandes actividades, la primera parte se enfocó en la validación del diseño de arquitectura preliminar y la segunda parte a desarrollar la actividad 8 de delimitación, ver sección 3.3.3.

La muestra utilizada para esta actividad es un panel de expertos conformado por una muestra por conveniencia de juicio experto como se describe en la sección 3.3.3.

Como se explicó anteriormente, se utilizó la guía detallada en el anexo 4 “Guía para priorización de conocimientos específicos”. Las sesiones se realizaron de la siguiente forma:

- Se realizó un ejercicio de priorización de conocimientos específicos, este se realizó de forma individual según la realidad de cada uno, utilizando la herramienta colaborativa Miro (ver anexo 3) y se dividió en dos áreas de matemáticas relaciones y álgebra y geometría y en cada uno de estos debían priorizar los conocimientos específicos, utilizando una escala del 1 al 6, donde 1 es muy prioritario y 6 nada prioritario.
- Para finalizar el grupo focal, la investigadora hizo un cierre haciendo un breve resumen de la sesión y agradeciendo el tiempo y la actitud participativa.

Tabla 6.2.

Delimitación realizada por participantes para los contenidos presentados en la arquitectura

RELACIONES Y ÁLGEBRA (Área matemática)				
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Priorizar (1 al 5)	Habilidades específicas	Proceso matemático
Expresiones algebraicas	Concepto de expresión algebraica Valor numérico	4	Identificar una expresión algebraica. Utilizar leyes de potencias para la simplificación	Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación

			de expresiones algebraicas. Determinar el valor numérico de una expresión algebraica.
	<p>Monomios</p> <ul style="list-style-type: none"> -Monomios Semejantes -Operaciones con monomios -Factor numérico y factor literal <p>Polinomios</p> <ul style="list-style-type: none"> -Operaciones con polinomios 	5	<p>Reconocer monomios semejantes.</p> <p>Efectuar operaciones con monomios: suma, resta, multiplicación y división.</p> <p>Sumar, restar y multiplicar polinomios.</p>
	Productos notables	2	Utilizar productos notables para desarrollar expresiones algebraicas.
Ecuaciones	<p>Ecuaciones del primer grado con una incógnita (despejar)</p> <ul style="list-style-type: none"> -Solución de una ecuación 	1	Identificar la diferencia entre una expresión algebraica y una ecuación.

	<p>-Raíz de una ecuación</p>		<p>Comprobar si un número dado es solución de una ecuación.</p> <p>Reducir una ecuación a otra que es equivalente a ella.</p> <p>Plantear y resolver problemas en contextos reales, utilizando ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones algebraicas fraccionarias que se reducen a ecuaciones del primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones de primer grado</p>	
--	------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

			con una incógnita.	
	Ecuaciones de segundo grado con una incógnita -Raíces -Discriminante	3	Plantear y resolver problemas utilizando ecuaciones de segundo grado con una incógnita Resolver ecuaciones que se reducen a ecuaciones de segundo grado con una incógnita.	

GEOMETRÍA (Área matemática)

Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Priorizar (1 al 5)	Habilidades específicas	Proceso matemático
Geometría analítica	Ejes cartesianos	2	Representar puntos y figuras geométricas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.	Representación Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación
	Representación de puntos	3	Determinar algebraicamente el punto medio de un segmento.	
	Representación de figuras	4	Ubicar puntos en el interior y en el	

			exterior de figuras cerradas en un plano con un sistema de ejes cartesianos.
Triángulos	Teorema de Pitágoras (Despejar)	1	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de problemas en diferentes contextos. Encontrar la distancia entre dos puntos en el plano cartesiano, aplicando el teorema de Pitágoras.
Trigonometría	Razones trigonométricas de ángulos complementarios	6	Aplicar los conceptos de ángulos de elevación y depresión en diferentes contextos. Resolver problemas que involucren las razones trigonométricas, sus propiedades y ángulos de

			elevación y de depresión. Plantear problemas contextualizados que utilicen razones trigonométricas para su solución.	
	Ley de senos	5	Aplicar la ley de senos en diversos contextos.	

Nota. Elaboración propia a partir de la actividad 8, ver sección 3.3.3

6.2.1. Proceso de selección de conocimientos específicos del prototipo

Para la selección de los conocimientos específicos a incluir en el prototipo, se realizó un grupo focal con expertos y, posteriormente, la investigadora realizó un análisis de los resultados obtenidos en esta actividad. Los conocimientos que se trabajaron en el prototipo se delimitaron a partir de los siguientes criterios:

- Por factor de tiempo se seleccionaron los conocimientos específicos que coincidían los participantes que tenían prioridad 1 tanto en el área de geometría como el área de relaciones y álgebra. Se detallan en la Tabla 6.3.
- Se delimitó a solo dos conocimientos específicos, ya que parte de las recomendaciones realizadas en la actividad de validación es que se realizaran ejercicios por nivel de dificultad.

Tabla 6.3.

Conocimientos específicos seleccionados para el prototipo

RELACIONES Y ÁLGEBRA (Área matemática)			
Área de Conocimiento	Conocimiento específico	Habilidades específicas	Proceso matemático
Ecuaciones	<p>Ecuaciones del primer grado con una incógnita (despejar)</p> <p>-Solución de una ecuación</p> <p>-Cero de una función</p> <p>-Raíz de una ecuación</p>	<p>Identificar la diferencia entre una expresión algebraica y una ecuación.</p> <p>Reducir una ecuación a otra que es equivalente a ella.</p> <p>Plantear y resolver problemas en contextos reales, utilizando ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones algebraicas fraccionarias que se reducen a ecuaciones del primer grado con una incógnita.</p> <p>Resolver ecuaciones de primer grado con una incógnita.</p>	<p>Plantear y resolver problemas</p> <p>Razonamiento y argumentación</p>
Expresiones algebraicas	Productos notables	Utilizar productos notables para	

		desarrollar expresiones algebraicas	
GEOMETRÍA (Área matemática)			
Triángulos	Teorema de Pitágoras (Despejar)	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de problemas en diferentes contextos. Encontrar la distancia entre dos puntos en el plano cartesiano, aplicando el teorema de Pitágoras.	Plantear y resolver problemas Razonamiento y argumentación

6.3. Definición de criterios de evaluación para el prototipo

Para realizar la evaluación del prototipo, inicialmente, lo ideal sería haber utilizado un diseño de experimento puro, con el cual se garantice la validez externa (generalización de los resultados) como la interna (confianza en la interpretación y la validez de los resultados). Con este fin, se debería utilizar al menos dos grupos: uno con estudiantes a los cuales se les ofrece tanto el apoyo del profesor como del STI, y otro de control, el cual estaría conformado de estudiantes que solo cuentan con el apoyo del profesor. Los participantes en la evaluación deberían ser asignados aleatoriamente a ambos grupos.

Todo ello con el propósito de determinar la efectividad en los procesos de enseñanza-aprendizaje que presenta el uso complementario del sistema de tutoría inteligente (STI) en el fortalecimiento de las habilidades/competencias matemáticas que

deben poseer los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico. En este sentido, se planteó la siguiente hipótesis:

- Los estudiantes que utilizan el STI con el apoyo del profesor logran un mayor nivel de habilidad/competencia matemática en los procesos de enseñanza-aprendizaje de nivelación al décimo año en comparación con aquellos estudiantes que realizan este proceso exclusivamente con el profesor sin apoyo del STI.

Para lograr este tipo de evaluación se debería contemplar un análisis de tipo confirmativo (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), dado que interesa generar evidencia sobre el efecto causal del uso complementario del STI en los procesos de enseñanza-aprendizaje de nivelación en los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico.

Asimismo, sería necesario realizar dos evaluaciones: una al principio de experimento (pretest) y otra al final del experimento (postes). Estas evaluaciones tendrían como propósito medir el nivel de conocimientos de ambos grupos de estudiantes antes y después de la aplicación de los diferentes procesos de nivelación. Con el fin de determinar la efectividad del STI se estaría utilizando un análisis de varianza (ANOVA). Para mayor detalle al respecto, se puede consultar Hernández-Sampieri y Mendoza (2018).

No obstante, el procedimiento antes delineado presenta una serie de problemas para su aplicación en esta investigación. En primer lugar, para que este procedimiento realmente sea efectivo, el pretest debería realizarse a principio del curso lectivo (febrero), cuando los estudiantes inician el ciclo lectivo, y el postest a inicios del segundo semestre (julio), cuando los estudiantes ya cuentan con la debida nivelación. Sin embargo, por asuntos del tiempo asignado a este trabajo de graduación, la ejecución del pretest se podía realizar a finales de setiembre y el lapso entre pretest y postest podía ser únicamente de

una semana. El tiempo entre pretest y postest también estaba limitado por la disponibilidad que el profesor del Colegio Humanístico había previsto para esta investigación. Asimismo, la asignación aleatoria de estudiantes no se consideró factible pues el profesor solicitó que todos los estudiantes de un grupo tuvieran acceso al STI. Sin embargo, sí se contaba con la disponibilidad para que el otro grupo de décimo año fuera utilizado como grupo control. Por consiguiente, lo más que se podía realizar era un cuasiexperimento. Este diseño no permite tener validez externa, aunque dependiendo de la equivalencia de los grupos se podría argumentar que sí habría validez interna de los resultados. Para más detalles consultar Hernandez-Sampieri y Mendoza (2018).

Por lo tanto, la principal problemática que se tuvo para aplicar este tipo de evaluación fue que el pretest se iba a estar aplicando a finales de setiembre o inicios de octubre, casi al cierre del curso lectivo y el tiempo estimado entre la aplicación pretest y postest era muy corto. No solo para este periodo de tiempo ya los estudiantes habrían cumplido el proceso de nivelación, sino que, además, el lapso de tiempo entre pretest y postest era tan corto que no era razonable suponer algún efecto en la mejora de los estudiantes.

Por este motivo y como solución alterna, se decidió utilizar dos tipos de criterios alternativos para evaluar el prototipo. El primero fue considerando la usabilidad como criterio de evaluación del prototipo, mientras que el segundo consideró el contenido del STI.

Las siguientes secciones presentan los criterios de evaluación seleccionados para evaluar el prototipo. El cuestionario desarrollado para la evaluación se presenta en el anexo 6 "Instrumento utilizado en la evaluación del prototipo".

6.3.1. Criterios de usabilidad

Este criterio responde a la percepción que tienen los usuarios sobre el sistema, por lo cual es un criterio necesario en este tipo de proyectos y se mide mediante escalas con varias preguntas (ítems), cada una orientada a evaluar un aspecto que se considera importante para su usabilidad (Mata y Hernández-Ruiz, 2019).

Para este proyecto se utiliza la escala de usabilidad de un sistema (SUS, por sus siglas en inglés), propuesta por Brooke (1996, citado por Mata y Hernández-Ruiz, 2019), puesto que es de las escalas más utilizadas. Por su parte, Bangor et al. (2009), mencionan las tres características que hacen que esta escala sea atractiva como:

- Posee una escala de 10 preguntas, lo cual hace que su aplicación sea más sencilla.
- No se tiene que pagar por su uso, a diferencia de otras escalas que son propietarias.
- Puede ser utilizada para evaluar cualquier sistema, independientemente de su tecnología.

A continuación, se muestra la Tabla 6.4 que muestra los ítems utilizados en la SUS.

Tabla 6.4.

Ítem de usabilidad utilizados en SUS

Ítems de evaluación

1. Creo que usaría este sistema de tutoría inteligente frecuentemente.
2. Encuentro este sistema de tutoría inteligente innecesariamente complejo.
3. Creo que el sistema de tutoría inteligente fue fácil de usar.

4. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este sistema de tutoría inteligente.
5. Las funciones de este sistema de tutoría inteligente están bien integradas.
6. Creo que el sistema de tutoría inteligente es muy inconsistente.
7. Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema de tutoría inteligente en forma muy rápida.
8. Encuentro que el sistema de tutoría inteligente es muy difícil de usar.
9. Me siento confiado(a) al usar este sistema de tutoría inteligente.
10. Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar este sistema de tutoría inteligente.

Fuente: Elaboración propia basada en Brooke 1996, citado por Mata y Hernández-Ruiz, 2019.

Estos ítems se evaluaron de acuerdo con la escala de Likert que va de 1 a 5, donde 1 indica estar en total desacuerdo y 5 estar en total acuerdo. Además, a los resultados obtenidos se les debe aplicar el siguiente procedimiento como indican Mata y Hernández-Ruiz (2019, p. 122):

1. Restar 1 al valor obtenido para cada uno de ítems impares (1, 3, 5, 7 y 9) para obtener su contribución a la escala.
2. La contribución a la escala para los ítems pares (2, 4, 6, 8, 10) se debe calcular como 5 menos el valor obtenido para cada uno de los mismos; esto es debido a que las preguntas correspondientes están redactadas en sentido inverso a las impares.
3. Posteriormente, se debe sumar las contribuciones correspondientes a los ítems de la escala para cada uno de los participantes y multiplicar el

resultado de esta sumatoria por 2.5 para obtener la puntuación final, la cual se encuentra en un rango de 0 a 100.

6.3.2. Criterios de percepción de la información presentada en el STI

Para ampliar la validación del prototipo se decidió consultar por el contenido ofrecido por el prototipo del STI y la percepción general de los estudiantes sobre el STI.

Por tal motivo, se utilizaron las preguntas presentadas en la Tabla 6.5., las preguntas que responden a la variable de contenido fueron evaluadas con una escala de Likert que va de 1 a 5, donde 1 indica estar en total desacuerdo y 5 estar en total acuerdo. Mientras que las preguntas referentes a la percepción general del STI se dejaron de respuesta abierta (ver anexo 6).

Tabla 6.5.

Preguntas realizadas para evaluar el contenido y la percepción general del prototipo del STI

Variables por evaluar	Pregunta realizada
Contenido	Creo que el sistema ofrece una variedad de herramientas de apoyo, como explicaciones adicionales y ejemplos prácticos
	Encuentro que la presentación de los conceptos matemáticos es clara y comprensible en el sistema de tutoría inteligente
	Creo que los ejemplos y las explicaciones proporcionadas son fáciles de entender
Percepción general	¿Qué fue lo que más te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?
	¿Qué fue lo que menos te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?

Fuente: Elaboración propia

6.4. Desarrollo del prototipo

El desarrollo del prototipo se realizó priorizando el listado de contenidos y ejecutando cada actividad de desarrollo con base en dicha prioridad, el desarrollo fue realizado por parte de la investigadora.

El desarrollo corresponde a la ejecución de la actividad 10 de desarrollo del prototipo del STI (ver sección 3.3.3).

Para reducir el tiempo de desarrollo, se inició por las actividades previas al desarrollo de las funcionalidades en sí, las cuales son:

- Instalación de HTML y Flash versión escritorio.
- Instalación de CTAT HTM Edu.
- Instalación de Java 8.
- Instalación de Google Drive escritorio.
- Solicitud de permisos en la plataforma de Tutor Shop.

Una vez configurado el ambiente, se inició con el diseño de los ejercicios, la selección de los videos e imágenes utilizadas en los ejercicios y el montaje de los textos explicativos utilizados en cada inicio de tema definidos con base en la delimitación del alcance del prototipo explicado en la sección 6.2.1. referente al listado de contenidos que se incluyeron en el prototipo.

Es importante mencionar que las imágenes mostradas e incluidas en las páginas del prototipo, se utilizan como citas académicas y con fines ilustrativos para la enseñanza, de conformidad con la excepción académica al derecho de autor y al amparo del Decreto Ejecutivo No. 37417-JP publicado en el Alcance 23 de La Gaceta del 4 de febrero de 2013.

De igual manera los ejercicios utilizados fueron basados en los libros de Ministerio de Educación del Ecuador (2018a, 2018b), Publicaciones Porras y Gamboa (2017) y Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (2019). En el caso de los videos fueron tomados de Gómez (2023, 2021, 2018, 2016a, 2016b).

Para llevar a cabo el desarrollo del prototipo se utilizaron los siguientes sistemas de CTAT (software utilizado para implementar el STI):

- CTAT for Html y Flash (versión escritorio): este se utilizó para programar cada una de las respuestas y pistas de ayuda.
- CTAT HTML edu: en este se trabaja el diseño y planteamiento de los ejercicios.
- Tutor Shop: en este se emparejan los archivos trabajados en los dos puntos anteriores y acá es donde el docente tiene el progreso de los estudiantes en relación con los ejercicios y en este es dónde los estudiantes ingresan para completar los ejercicios.

Una vez configurado el ambiente, se inició con el desarrollo de las funcionalidades definidas con base en la delimitación del alcance del prototipo explicado en la sección 6.2.1. referente al listado de funcionalidades incluidas en el prototipo.

Antes de ejecutar el prototipo del STI, a los estudiantes se les generó un usuario en el sistema Tutor Shop, explicado en la sección 6.4., donde interactuaron y resolvieron los 12 ejercicios planteados. Antes de la puesta en ejecución el prototipo fue enviado al especialista de matemáticas y el docente de matemáticas del Colegio Humanístico para su revisión y ambos plantearon observaciones en el caso del docente, solicitó la sustitución y modificación de ejercicios, los cuales se efectuaron.

La primera página hace referencia a las ecuaciones de primer grado, donde se realiza una breve explicación de la materia y se presenta un video donde se profundiza más el tema y posteriormente inician una serie de cinco ejercicios sobre el mismo tema.

Figura 6.1.

Ecuaciones de primer grado: ejercicio 1

Ecuaciones de primer grado

Las ecuaciones de primer grado son ecuaciones en las que todas las variables tienen una potencia máxima de 1. Por ejemplo, las ecuaciones $4x+1=5$ y $2x+12=4x-2$ son ecuaciones de primer grado.

Las ecuaciones también son la igualdad entre dos expresiones que contienen una o más variables.

Para resolver ecuaciones de primer grado, debemos aplicar diferentes operaciones a ambos lados del signo igual, de modo que logremos despejar la variable. Entonces, podemos seguir los siguientes pasos para encontrar la solución a ecuaciones de primer grado:

Paso 1: Simplificamos la expresión. Esto incluye eliminar paréntesis y otros signos de agrupación, eliminar fracciones y combinar términos semejantes.

Paso 2: Despejamos la variable. Realizamos sumas y restas para ubicar todos los términos con variables en un solo lado de la ecuación.

Paso 3: Resolvemos la ecuación. Realizamos multiplicaciones y divisiones para encontrar la respuesta.

Ejemplo:

$$5x-12=3.$$

Solución

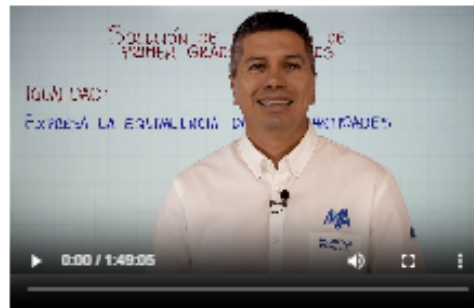
En este caso no es necesario simplificar. Por tanto, despejamos la variable, para ello usamos sumas para despejar la variable:

$$5x-12+12=3+12$$

Siguiente paso es resolver, en este caso es necesario dividir ambos lados por 5:

$$\begin{aligned} 5/5x &= 15/5 \\ x &= 3 \end{aligned}$$

Si quieres profundizar más en la explicación, podés ver el siguiente video



Ejercicio 1

Un bebé recién nacido tiene 300 huesos. Esto es, 94 más que en la edad adulta. Para calcular la cantidad de huesos que tiene un adulto, se puede modelar la situación

Fuente: elaboración propia

Figura 6.2.

Ecuaciones de primer grado: ejercicio 2

Ecuaciones de primer grado

Ejercicio 2

Para cada enunciado, escribe una ecuación, ver el primer ejemplo que se muestra en la tabla.

Nota: las fracciones se colocan con '/'. Ejemplo: 2/3
No agregar espacios

El doble del número n disminuido en 3 es igual a 15. $2n - 3 = 15$

La suma del número n y el posterior es 32.

Las dos terceras partes de n equivalen a 18

Quando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

Previous Next

?
Hint

✓
Done

Fuente: elaboración propia

El ejercicio 3 mostrado en la Figura 6.3 tiene como propósito plantear y resolver problemas aplicando ecuaciones de primer grado y busca que el estudiantado deduzca el concepto de ecuación, como se indica en el programa de matemáticas (MEP, 2012).

Figura 6.3.

Ecuaciones de primer grado: ejercicio 3

Ecuaciones de primer grado

Ejercicio 3

Héctor actualmente tiene \$27 en su cuenta de ahorros que equivale a una cuarta parte del dinero que originalmente tenía.

El dinero que anteriormente tenía en la cuenta se representa con x

Nota: la fracciones se colocan con '/'. Ejemplo: $2/3$
Para la multiplicación se utiliza '*'. Ejemplo: $2*3$
No agregar espacios

Esto se traduce matemáticamente a:

La solución de la ecuación es:

Quando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

← PreviousNext →

?
Hint

✓
Done

Fuente: elaboración propia

119

En la Figura 6.4, se muestra el ejercicio 4, el cual tiene como propósito que los estudiantes practiquen el cómo despejar una incógnita, que es uno de los temas que les suele costar más en su proceso de aprendizaje.

Figura 6.4.

Ecuaciones de primer grado: ejercicio 4

Ecuaciones de primer grado

Ejercicio 4

Despeje las siguientes ecuaciones de primer grado:

Nota: la fracción se coloca con "/". Ejemplo: $\frac{1}{2}$
La multiplicación se representa con "*". Ejemplo: $2 \cdot 3$
No agregar espacios.

$2x - 34 = 120$

$10x + 5 = 3x + 12$

$2(3x - 2) = 8$

Cuando coloque las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que está incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón **Hint** si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en **Done** cuando ya haya terminado el ejercicio.

?

✓

Fuente: elaboración propia

Por último, en esta sección se tiene el ejercicio 5 que se muestra en la Figura 6.5, que tiene como objetivo plantear un problema del contexto real, utilizando ecuaciones de primer grado con una incógnita.

Figura 6.5.

Ecuaciones de primer grado: ejercicio 5

Ecuaciones de primer grado

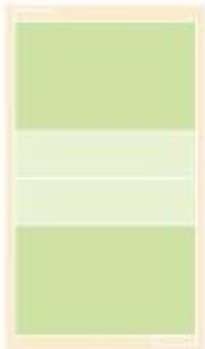
Ejercicio 5

En una cancha de voleibol como la que se muestra en la Figura, la medida del ancho es 9 m; esta medida equivale a la sexta parte del largo de la cancha representado por x .
La relación entre el largo de esta cancha de voleibol y el ancho se puede representar mediante una ecuación de primer grado con una incógnita.

Nota: la fracciones se colocan con '/'. Ejemplo: 2/3
Para la multiplicación se utiliza '*'. Ejemplo: 2*3
No agregar espacios

La ecuación de primer grado con incógnita, se representa de la siguiente manera:

La solución de la ecuación es:



Quando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que está incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

← PreviousNext →

?
Hint

✓
Done

Fuente: elaboración propia

Como segundo tema se encuentra Productos notables, donde se muestra en la página 6, la breve explicación, el video que profundiza sobre el tema y la serie de 5 ejercicios los cuales aparecen del 6 al 10, los cuales se muestran a continuación:

Figura 6.6.

Productos notables: ejercicio 6

Productos Notables

Un producto notable se refiere a una expresión que se presenta frecuentemente y tiene una forma específica que puede ser simplificada fácilmente. Estas expresiones simplificadas son útiles para resolver problemas de manera más eficiente. Los productos notables son patrones comunes que involucran variables y números.

Un producto notable es la multiplicación entre 2 o más binomios dando como resultado un binomio, un trinomio o un polinomio. A continuación observarás las diferentes expresiones de productos notables.

Igual te explicamos el desarrollo que lleva a dichas fórmulas, para que veas que todos estos resultados de productos notables son sólo una resolución de multiplicaciones, sumas y/o restas.

Binomio al cuadrado o cuadrado de un binomio

Este producto notable es la suma de dos términos elevada al cuadrado.

Ejemplo, al resolver $(x+y)(2)$

Multiplicaremos término por término para que observemos cómo es el comportamiento, recuerda la técnica del paréntesis si crees que te es necesaria:

$$(x+y)(2) = (x+y) (x+y)$$

Ahora tomamos cada término y lo multiplicaremos paso a paso, empezamos con el primer término 'x' y lo multiplicaremos por la 'x' del segundo paréntesis, luego lo multiplicaremos por la 'y' del segundo paréntesis. Luego tomaremos la y del primer paréntesis y la multiplicaremos primero por la 'x' del segundo paréntesis 'y' luego por la 'y' del segundo paréntesis:

$$x \cdot x + x \cdot y + y \cdot x + y \cdot y$$


Efectuamos las multiplicaciones correspondientes:

$$x(2) + xy + yx + y(2)$$

Finalmente, realizamos una suma para obtener nuestro resultado final, como observamos, se suman el xy y el yx:

$$x(2) + 2xy + y(2)$$

Para profundizar más en la explicación, podés ver el siguiente video



Fuente: elaboración propia

Los ejercicios que se muestran en las Figuras 6.7 y 6.10 tienen como propósitos que los estudiantes repasen las fórmulas de los productos notables, debiendo desarrollar los productos notables mediante las fórmulas, mientras que en la Figura 6.10 se les da el resultado y deben colocar el producto notable, que genera ese resultado.

Figura 6.7.

Productos notables: ejercicio 7

Productos Notables

Ejercicio 2

Desarrolle cada uno de los siguientes productos notables dados

*Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis.
Ejemplo $x(2)$ o $(a+b)(2)$*

No agregar espacios

$(2a-n)(2)$

$(x+y)(2)$

$(a-3)(2)$


$(b+2)(2)$

$(2x-3y)(2)$

Cuando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.



Fuente: elaboración propia

En el caso de los ejercicios que se muestran en las Figuras 6.8 y 6.9 tienen como propósitos que los estudiantes hagan la conexión con la geometría que es parte de lo que se indica en el programa de matemáticas (MEP, 2012).

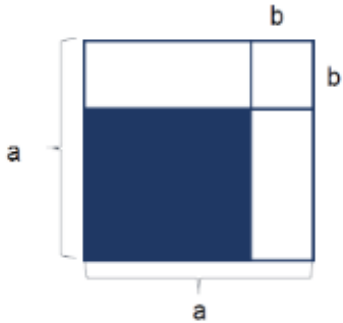
Figura 6.8.

Productos notables: ejercicio 8

Productos Notables

Ejercicio 3

Observe la siguiente figura



El diagrama muestra un cuadrado grande con un lado etiquetado como 'a'. Este cuadrado está dividido en cuatro regiones: un cuadrado azul de lado 'a' en la parte inferior izquierda, un rectángulo blanco de dimensiones 'a' x 'b' en la parte superior izquierda, un rectángulo blanco de dimensiones 'b' x 'b' en la parte superior derecha, y un rectángulo blanco de dimensiones 'a' x 'b' en la parte inferior derecha. Las etiquetas 'a' y 'b' indican las longitudes de los lados correspondientes.

Responda lo que se solicita.

1. Determine el área de la región del cuadrado destacado con color azul, utilizando las siguientes expresiones.

- Una potencia
- Un producto

Resolución

Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis.
Ejemplo $x(2)$ o $(a+b)(2)$

No agregar espacios

Cuando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para

?

Hint

Fuente: elaboración propia

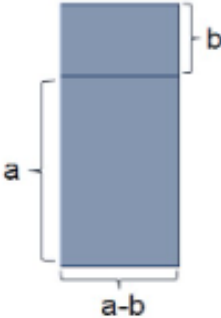
Figura 6.9.

Productos notables: ejercicio 9

Productos Notables

Ejercicio 4

Observe la siguiente figura



Responda lo que se solicita.

1. Determine el área de la figura compuesta por rectángulos utilizando las siguientes expresiones.

- Un producto
- Un polinomio reducido

Resolución

*Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis.
Ejemplo $x(2)$ o $(a+b)(2)$*

No agregar espacios

Cuando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

?
Hint

✓
Done

Fuente: elaboración propia

Figura 6.10.

Productos notables: ejercicio 10

Productos Notables

Ejercicio 5

Escriba la fórmula notable que corresponde al polinomio dado

*Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis.
Ejemplo $x(2)$ o $(a+b)(2)$*

No agregar espacios

$x(2)+10+25$	<input style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
$49a(2)-14ab+b(2)$	<input style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
$36a(2)+12ab+b(2)$	<input style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
$4a(2)-12ab+9b(2)$	<input style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
$x(2)-16x+64$	<input style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>

Quando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

En este caso para que te diera esa respuesta fue porque hiciste lo siguiente $(x)(2)+2(x)(5)+5(2)$

?
Hint

✓
Done

Previous Next

Fuente: elaboración propia

Para la última sección de ejercicios se dejó el tema de Teorema de Pitágoras el cual se presenta con una breve explicación, la profundización del tema mediante una serie de 3 videos y los dos ejercicios de la sección.

Ambos ejercicios mostrados en las Figuras 6.11 y 6.12 están enfocados en resolver y encontrar la hipotenusa.

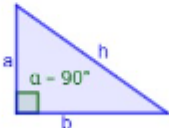
Figura 6.11.

Teorema de Pitágoras: ejercicio 11

Teorema de Pitágoras

En la antigüedad se utilizaba el teorema de pitágoras para medir terrenos en agricultura, la altura de ciertos objetos, obtener el volumen de sólidos como pirámides y conos. En la actualidad, el teorema sigue siendo indispensable en toda área donde es necesario el cálculo de longitudes, como en ingeniería, agricultura, física, astronomía y hasta en las artes. En la matemática, el teorema permitió el fortalecimiento de algunas áreas como la geometría y el cálculo, además del descubrimiento de los números irracionales.

Este teorema establece que la suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado de la hipotenusa:




$h^2 = a^2 + b^2$


Recordá que un triángulo es rectángulo cuando uno de sus ángulos interiores es recto (90 grados) y que la hipotenusa es el lado opuesto al ángulo recto.

Para saber más sobre el tema, te invito a ver los siguientes videos:


Video 1



Video 2



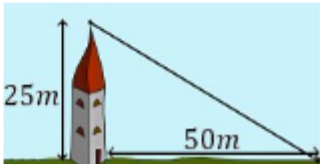
Video 3



Ejercicio 1

Se quiere colocar un cable desde la cima de una torre de 25 metros altura hasta un punto situado a 50 metros de la base la torre. ¿Cuánto debe medir el cable?

Resuelve el problema, tomando en cuenta que el cable coincide con la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyos catetos miden:



Fuente: elaboración propia


Figura 6.12.

Teorema de Pitágoras: ejercicio 12

Teorema de Pitágoras

Ejercicio 2

La distancia desde la entrada principal de la Universidad Nacional (punto C) hasta el BAC Credomatic (punto B) es de 554 m; mientras que desde el BAC Credomatic hasta la Parroquia Sagrado Corazón de Jesús (punto A) es 375 m. Encuentra la distancia entre los puntos A y C.



En la situación anterior, se forma el triángulo rectángulo ABC, del cual ya se conoce la longitud de los catetos AB (375m) y BC (554m). Para encontrar la distancia entre los puntos AC, es necesario que utilicés teorema de Pitágoras

Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis.
Ejemplo 20(2)

No agregar espacios.

Calculamos la distancia entre AC (es la hipotenusa h):

=

=

Fuente: elaboración propia

7. Evaluación

Este capítulo presenta los resultados de la etapa de evaluación del prototipo, según la metodología propuesta en la sección 3.3.4 y utilizando los criterios de evaluación antes presentados en la sección 6.3. El instrumento utilizado para realizar la evaluación se detalla en el anexo 6 “Instrumento utilizado en la evaluación del prototipo.”

7.1. Características de la muestra de personas evaluadoras

En la evaluación participaron 25 estudiantes los cuales representan el 93% de la sección de décimo 10-1 del Colegio Humanístico Costarricense, ya que el total de la sección corresponde a 27 estudiantes. Dos de los estudiantes no se presentaron a clases por cita médica el día que se realizó la evaluación del STI.

7.2. Evaluación de usabilidad del prototipo del STI

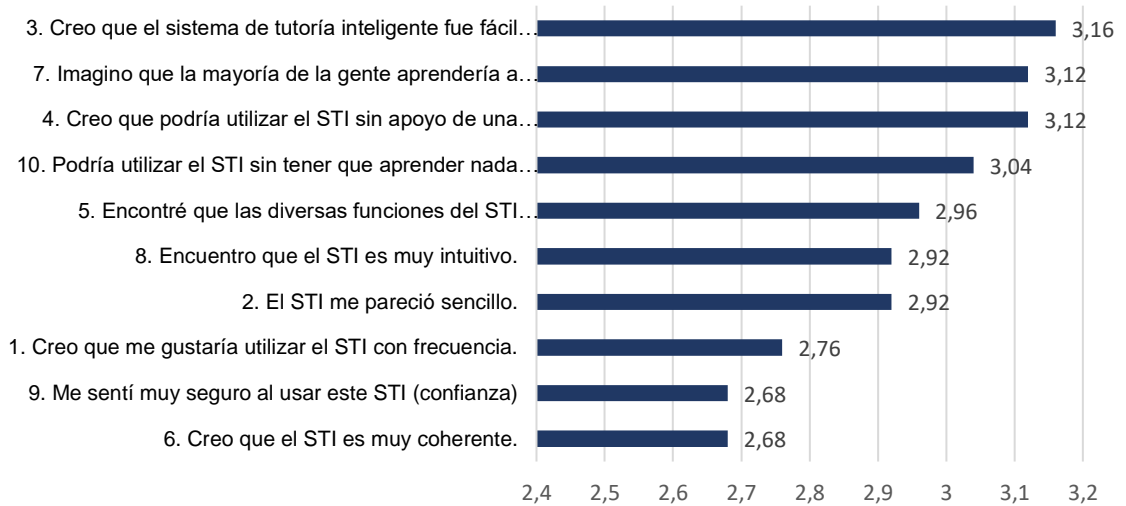
En la Figura 7.1 se muestran los promedios de las evaluaciones obtenidas para el primer ítem de la SUS. Estos se presentan después de aplicar el procedimiento explicado en la sección 6.3.1 de manera que los ítems pares se encuentran revertidos lo que permite que todos los ítems se encuentren evaluados en el mismo sentido de la escala y los valores se encuentran en un rango de 0 a 4, siendo el 2 el valor medio o de indiferencia.

Como se muestra la Figura 7.1, los 10 ítems exceden en promedio el valor de 2, es decir, se encuentran por encima del valor medio o de indiferencia y del lado positivo. Los ítems “Creo que el STI es muy coherente” y “Me sentí muy seguro al usar este STI” fueron los que presentaron el valor más bajo con un promedio de 2,68.

Figura 7.1.

Promedio para las evaluaciones para los SUS (con los ítems pares revertidos)

Promedio evaluaciones para los SUS



Nota: SUS (con los ítems pares revertidos) (n=25)

Fuente: elaboración propia a partir de Sauro y Lewis (2011)

Para medir la confiabilidad de la SUS se utilizó el coeficiente Alfa de Cronbach (Cronbach, 1951). El resultado de este coeficiente dio 0.92, el cual se considera alto (Nunnaly, 1978).

Los valores obtenidos para la SUS en esta investigación se encuentran en un rango de estudio que varía de 67,5 a 100, con un promedio de 73,40. Sin embargo, este valor promedio no se puede interpretar como un porcentaje (Brooke, 2013). Para interpretarlo correctamente debe normalizarse utilizando como base la escala de percentiles propuesta por Lewis y Sauro (2018) que se muestra en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1.

Escala de calificación para la SUS.

<i>Evaluación</i>	<i>SUS</i>	<i>Rango de Percentil</i>
A+	84.1 - 100	96 – 100
A	80.8 - 84.0	90 – 95
A-	78.9 - 80.7	85 – 89
B+	77.2 - 78.8	80 – 84
B	74.1 - 77.1	70 – 79
B-	72.6 - 74.0	65 – 69
C+	71.1 - 72.5	60 – 64

Fuente: Fuente: Lewis y Sauro (2018)

De acuerdo con la Figura 7.1, el valor promedio obtenido en la SUS de 73,40 se ubica en el rango percentil de 72.6 - 74.0 percentil y corresponde a una evaluación de B-, valor que no es alto en términos de usabilidad.

Para comprender más las evaluaciones realizadas por parte de los estudiantes, se les hicieron dos preguntas abiertas, para saber lo que más les gustaba y disgustaba del STI, las respuestas estuvieron muy alineadas a los resultados obtenidos producto de la evaluación de SUS

En cuanto a la pregunta sobre qué es lo que menos les gusta, los estudiantes mencionaron 3 aspectos, como se muestra en la Tabla 7.2, los cuales se relacionan con los resultados obtenidos para los ítems 1, 9 y 6 que obtuvieron individualmente los valores más bajos para la SUS. Las inconsistencias que ellos detectaron afectan la evaluación del ítem 6 que se refiere a la coherencia del STI y el ítem 9 que evalúa la seguridad al usar el STI. El Anexo 8 presenta las respuestas dadas por los estudiantes y el análisis cualitativo realizado para obtener los resultados presentados en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2.

Aspectos que menos gustaron del STI

Respuestas codificadas	Frecuencia	Porcentaje
Inconsistencias	11	44%
Poca flexibilidad	8	32%
Explicación de los ejemplos	5	20%
No encuentra nada malo aplica	1	4%
Total	25	100%

Fuente: elaboración propia

En relación con los aspectos que más gustaron a los estudiantes del STI, se observa la predominancia por el tema de las herramientas que se utilizaron para explicar los diferentes temas como se muestra en la Tabla 7.3. En el Anexo 8 se muestran las respuestas obtenidas de los estudiantes y el análisis cualitativo realizado para obtener los resultados presentados en dicha tabla.

Tabla 7.3.

Aspectos que más gustaron del STI

Respuestas codificadas	Frecuencia	Porcentaje
Herramientas para explicar los temas	15	60%
Retroalimentación	8	32%
Fácil de usar	2	8%
Total	25	100%

Fuente: elaboración propia

7.3. Evaluación del contenido y percepción general

La evaluación sobre el contenido se evaluó de la misma forma que el criterio de usabilidad con la escala de Likert que va de 1 a 5, donde 1 indica estar en total desacuerdo y 5 estar en total acuerdo, para ello se plantearon tres preguntas. En el caso de la percepción general sobre el STI se plantearon dos preguntas abiertas.

Para el ítem “Creo que el sistema ofrece una variedad de herramientas de apoyo, como explicaciones adicionales y ejemplos prácticos” el 56% indicó estar de acuerdo, el 28% totalmente de acuerdo, esto muestra que más de la mitad de la población tuvo una opinión positiva. En cambio, el 12% otorgó un valor correspondiente a en desacuerdo y solo el 4% indica la opción de neutro, como se muestra en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4.

Satisfacción sobre las herramientas de apoyo

Grado de satisfacción	Muestra	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	7	28%
De acuerdo	14	56%
Neutro	1	4%
En desacuerdo	3	12%
Total	25	100%

Fuente: elaboración propia

En el caso del ítem “Encuentro que la presentación de los conceptos matemáticos es clara y comprensible en el sistema de tutoría inteligente” el 60% indicó estar de acuerdo, el 16% totalmente de acuerdo, lo que denota que el 76% de los estudiantes tuvieron una opinión positiva. Por otro lado, el 16% seleccionó un valor de neutro y el solo el 8% indica estar en desacuerdo, como se muestra en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5.

Satisfacción sobre los conceptos matemáticos

Grado de satisfacción	Muestra	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	4	16%
De acuerdo	15	60%
Neutro	4	16%
En desacuerdo	2	8%
Total	25	100%

Fuente: elaboración propia

Para finalizar con la sección de contenido se les colocó el siguiente ítem “Creo que los ejemplos y las explicaciones proporcionadas son fáciles de entender”, el 56% indicó estar de acuerdo, el 16% totalmente de acuerdo, el 16% neutro y solo el 12% indica estar en desacuerdo, como se muestra en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6. *Satisfacción sobre los ejemplos y explicaciones proporcionados*

Grado de satisfacción	Muestra	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	4	16%
De acuerdo	14	56%
Neutro	4	16%
En desacuerdo	3	12%
Total	25	100%

Fuente: elaboración propia

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

En esta sección se expone una serie de conclusiones resultantes de la ejecución del proyecto de propuesta de sistema de tutoría inteligente para el apoyo del aprendizaje de las matemáticas para estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense, las cuales se detallan a continuación:

- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología presentada en el capítulo 3, se puede concluir que se logró cumplir con el objetivo general planteado para esta investigación ya que el prototipo desarrollado permitió validar que la solución planteada coadyuva en cierta medida a la formación de habilidades matemáticas relacionadas con geometría y relaciones y álgebra en los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense.

Como se explicó en el capítulo 2, existe evidencia internacional sobre los beneficios que tienen los STI cuando se implementan en la educación, lo que permite concluir que esos beneficios podrían resolver el problema que se plantea en este proyecto, el cual es el rezago académico de los estudiantes de décimo año en matemáticas. Aunque no es posible concluir que el prototipo desarrollado haya sido determinante en la formación de las habilidades matemáticas, debido a las limitaciones que se tuvo para hacer su evaluación, como se explicó en el anterior capítulo, con base en la experiencia de otros países, se podría concluir que este STI adecuadamente contemplado en el programa de estudios y con ayuda de especialistas en matemáticas y programadores informáticos podría ayudar en este sentido a reducir

el rezago en matemática, coadyuvando a mejorar la educación en esta temática en el país.

- Además, se logró cumplir con los objetivos específicos planteados para este proyecto de investigación. En este sentido, los objetivos específicos 1 y 2 del proyecto se cumplieron mediante la síntesis de las experiencias exitosas de los STI utilizados para la enseñanza de las matemáticas, detalladas en el marco teórico (ver sección 2.4.2 y 2.4.5). Asimismo, con la ayuda del docente de matemáticas del Colegio Humanístico Costarricense, se lograron identificar las necesidades y las características que requiere el STI para cumplir con las necesidades de este centro educativo. Los resultados obtenidos al respecto se detallan en el capítulo 4.
- El objetivo específico 3 de esta investigación, referente a la propuesta del diseño de un STI que contemple las características, expectativas, respondiendo a la solución de la problemática planteada, se cumplió al desarrollar un diseño completo de este STI, y posteriormente validar dicho diseño con el panel de expertos que se utilizó en la actividad 5. Los resultados de estas actividades se encuentran en el capítulo 5.
- Como se presenta en el capítulo 6, se llevó a cabo la implementación del prototipo del STI planteado en el objetivo específico 4. Esto se llevó a cabo mediante las actividades realizadas de delimitación del alcance del prototipo, definición de los criterios para la evaluación del prototipo, selección de software de uso libre para el desarrollo, implementación y construcción propiamente del prototipo del STI, cumpliendo de esta manera lo propuesto en dicho objetivo.

Como parte del desarrollo del prototipo, se concluye que el software CTAT que fue el seleccionado y utilizado no es muy flexible y requiere de conocimientos importantes de programación para desarrollar respuestas de manera aleatoria para los ejercicios. Para efectos de este prototipo fue necesario configurar las respuestas y la realimentación a mano, lo cual generó en los estudiantes la impresión de que el

STI es poco flexible. En este sentido, Weitekamp et al. (2020) mencionan que construir un STI es un proceso que requiere mucho tiempo y conocimiento especializado de las herramientas existentes. Los métodos de creación existentes, incluido el método de seguimiento de ejemplos de Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT), utilizan la programación por demostración para permitir a los autores construir STI más rápidamente de lo que podrían hacerlo mediante programación manual con modelos. Sin embargo, estos métodos también adolecen de largos tiempos de creación o dificultades para crear modelos completos.

- Asimismo, el objetivo específico 5 se alcanzó mediante la evaluación del prototipo, cuyos resultados se presentan en el capítulo 7. Mediante esta actividad, no solo se puede concluir, que el prototipo cumple en parte con los criterios de evaluación establecidos, sino que también se obtuvo retroalimentación para mejorar el diseño y prototipo desarrollados. La evaluación permitió determinar que el prototipo posee un nivel intermedio bajo de usabilidad, como se detalla en el capítulo 7. Por otro lado, las preguntas relacionadas con la percepción de la información presentada en el STI obtuvieron una buena aceptación por parte de la comunidad estudiantil participante de este proyecto.
- No obstante, es importante mencionar que los resultados de la evaluación están limitados, ya que no se pudo evaluar el impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, por limitaciones de tiempo propios de la maestría. En el capítulo 7, se explicó la evaluación que hubiera sido ideal realizar para este estudio.
- Por último, el objetivo 6 se logra a través de este capítulo, el cual presenta las conclusiones y recomendaciones para mejorar y completar el prototipo desarrollado.
- El presente proyecto permitió generar una base de conocimiento sobre la implementación de STI para apoyar la enseñanza de las matemáticas, brindando así una posible solución a la problemática nacional existente sobre el rezago de los

estudiantes de secundaria, principalmente los de décimo año. Este proyecto con más expertos involucrados podría ser de gran apoyo para que los estudiantes puedan estudiar, practicar y repasar las matemáticas. Asimismo, con más tiempo y experiencia se podría obtener mejores resultados.

- La metodología de investigación DSR, permitió incluir a un grupo multidisciplinario de personas. Con base en esto, en procesos futuros de desarrollo y mejora del STI se debe incluir a diferentes expertos que ayuden a que el proceso sea más fluido y el STI más flexible, como ejemplo el apoyo de los docentes de matemáticas, ya que estas personas son indispensables para poder entender el problema y la necesidad de la población escolar.
- Para este proyecto se utilizó un software de código fuente gratis/abierto, lo que permitió desarrollar e implementar sin incurrir en inversión en costos de licencias de software, adicionalmente esto permite que los costos de mantenimiento sean más bajos. Sin embargo, requiere mayor conocimiento técnico. CTAT permitió de cierto modo el desarrollo del prototipo sin necesidad de conocimiento experto en programación.
- La evaluación permitió determinar que el prototipo posee un nivel intermedio bajo de usabilidad, como se detalla en el capítulo 7, la calificación obtenida es B-. Asimismo, a nivel de contenido del STI obtuvo una buena aceptación por parte de la comunidad estudiantil participante de este proyecto.
- Para finalizar, es importante mencionar que los resultados obtenidos en este proyecto fueron posibles gracias al trabajo que se realizó en conjunto con el docente de matemáticas del Colegio Humanístico y el experto en matemáticas, quienes se involucraron en las diferentes etapas de la metodología DSR.

8.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se deberían tomar en cuenta para el futuro del proyecto:

- Es necesario reforzar el tema del diseño gráfico del STI de modo que visualmente sea más atractivo para la población meta. Todo ello se podría reforzar con recursos multimedia interactivos como imágenes, infográficos, videos, entre otros.
- Para la creación del contenido ofrecido por el STI es importante tomar en cuenta aspectos de calidad de la información, y que el diseño de estos sea atractivo para los estudiantes y fácil de utilizar.
- En temas de diseño del STI sería importante utilizar DUA (Diseño Universal para el Aprendizaje), con el propósito de poder favorecer la adaptación del STI a otros contenidos o a otros colegios. El uso de este tipo de diseño, como lo menciona Alba (2014) requiere contemplar los diferentes métodos de aprender que tienen los estudiantes, todas sus dimensiones y habilidades, eliminando consigo las barreras en el aprendizaje.
- Se debería tratar de desarrollar experiencias en otros colegios. Para ello, sería importante contar con el apoyo de la Escuela de Informática y la Escuela de Matemáticas de la Universidad Nacional, debido a la naturaleza del proyecto. Asimismo, sería fundamental contar con el apoyo desde el Ministerio de Educación Pública, si se quisiera expandir el uso de este STI a otros centros educativos de secundaria.
- Como parte de la actividad 5, surgen recomendaciones generales como: la importancia de considerar que el fin último es mejorar el aprendizaje y no en sí la herramienta, la herramienta es solo el medio para hacerlo. Otro aspecto para considerar es mejorar la usabilidad del STI si se quisiera implementar en otros

centros educativos de secundaria. Esto puede ser importante considerando, que la realidad y el contexto del Colegio Humanístico es totalmente diferente al resto.

- Siguiendo el punto anterior, sería interesante que al trabajar directamente con otros involucrados se utilice una metodología ágil con el fin de hacer sprint cortos de mejoras e iteraciones constantes
- Para el mejoramiento del prototipo desarrollado, se recomienda seguir utilizando la misma metodología DSR, aplicada en este trabajo. Como se menciona en la parte de las conclusiones, dicha metodología se adaptó bien al problema y además, demostró sus bondades para identificar las características de este, obtener, y evaluar una solución del mismo en un tiempo corto.
- A nivel operativo como se mencionó en las conclusiones, es necesario crear un equipo de trabajo multidisciplinario, que brinde soporte en diferentes aspectos del STI, estos deben abarcar la generación de contenido, solución de problemas técnicos y desarrollo de funcionalidades.
- Por último, sería conveniente experimentar con otros softwares de STI. Aunque la selección de CTAT fue fundamentada por criterios explicados anteriormente, lo mejor sería probar diferentes softwares. Esto no se pudo hacer en este trabajo por limitaciones de tiempo.
- Relacionado con lo anterior, es importante mencionar que con los recientes desarrollos en inteligencia artificial generativa, es posible que pronto se desarrollen nuevas generaciones de software para STI que incorporen capacidades similares a las que ofrecen este tipo de inteligencias artificiales, como es el caso de Chat GPT. Por consiguiente, la consideración de otras opciones de software para STI deberían estar guiadas por la incorporación en estos sistemas de facilidades relacionadas con este tipo de inteligencias artificiales, la cual puede complementar aún más las

funciones del tutor. Esto puede resultar en STI más flexibles y amigables, superando las limitaciones encontradas con el uso de CTAT.

9. Análisis retrospectivo

9.2. Referente al proyecto

Este proyecto echó raíces durante el primer trimestre de maestría como una propuesta en el curso "Investigación para la Innovación". Desde su génesis, ha mantenido un propósito superior: contribuir de manera significativa a la educación en nuestro país. El corazón de esta idea siempre latió en la generación de una innovación social destinada a mejorar las experiencias de aprendizaje de los estudiantes de secundaria y aliviar las dificultades persistentes que enfrentan.

Inicialmente, la ejecución de este proyecto estaba programada para llevarse a cabo en el Colegio Técnico San Pedro de Barva, donde se contaba con la autorización de la directora. Sin embargo, al realizar la primera convocatoria con los docentes, de tres participantes esperados, solo se presentó una docente. Lamentablemente, ella expresó su falta de interés en participar debido a limitaciones de tiempo. Este hecho creó una restricción en los plazos de ejecución originalmente planificados para el proyecto.

Para llevar a cabo este proyecto, se recurrió a la metodología Design Science Research (DSR), que se reveló como una guía clara y efectiva para cada etapa necesaria para alcanzar el objetivo planteado. Durante la fase inicial de entendimiento del problema, se identificaron las necesidades esenciales de los estudiantes de décimo año de secundaria. Además, se exploraron experiencias internacionales exitosas que implementaron sistemas de tutoría inteligente (STI) para respaldar el aprendizaje de las matemáticas en la educación secundaria.

La utilización de grupos focales resultó sumamente efectiva para guiar discusiones y debates productivos. Proporcionó información valiosa que orientó el diseño de la solución

propuesta. Durante la ejecución de este proyecto, se aprovechó al máximo el conocimiento, la experiencia y las opiniones de todas las partes involucradas, lo que no solo contribuyó a generar la solución planteada, sino que también permitió crear un prototipo que en contenido satisface las necesidades.

Los expertos en la enseñanza de las matemáticas que acompañaron este proceso demostraron un compromiso genuino e inquebrantable, brindando un apoyo fundamental que garantizó la calidad de esta investigación y el logro de los objetivos.

Además, no se puede pasar por alto el papel fundamental desempeñado por el profesor tutor. Su compromiso constante y sus valiosos comentarios guiaron el proyecto con su amplia experiencia y conocimiento. Su apoyo fue un componente esencial para el éxito de esta iniciativa.

Finalmente, la oportunidad de cursar la MAGIT resultó ser crucial para darle vida a este proyecto. A lo largo de cada curso, se logró fortalecer cada una de las etapas concebidas para desarrollar esta propuesta de Sistema de Tutoría Inteligente (STI). Este proceso no solo consolidó los fundamentos necesarios, sino que también amplió la comprensión sobre la innovación, sus diversas manifestaciones y cómo colaborar de manera efectiva con otros actores que podrían fortalecer el STI.

9.2. Referente a los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense

Durante la ejecución de este proyecto se tuvo la valiosa oportunidad de sumergir en el mundo de aprendizaje de los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico Costarricense, así como de adentrarse en la perspectiva de su profesor de matemáticas. Esta inmersión permitió explorar a fondo las necesidades específicas de aprendizaje de los

estudiantes, así como comprender en profundidad su entorno de aprendizaje y la relación única entre docente y alumnos, en la que el aprendizaje fluye en ambas direcciones.

Es digno de admirar el compromiso incansable del docente, el cual se reflejó en el apoyo constante que brindó a lo largo de todas las etapas de este proyecto y en su interacción con los estudiantes. Durante la implementación del Sistema de Tutoría Inteligente (STI), se evidenció en todo momento la conexión profunda, la admiración mutua, el respeto y la confianza que los estudiantes tienen en su docente. Esta relación es genuinamente inspiradora, ya que subraya el hecho de que un buen docente posee la capacidad de infundir esperanza, avivar la imaginación y cultivar un amor duradero por el aprendizaje. El impacto de un docente resuena a lo largo de toda la vida de sus estudiantes.

Adicionalmente, al llevar a cabo la actividad de grupo focal con otros docentes de matemáticas de secundaria de diferentes instituciones educativas, se revelaron similitudes en los desafíos que enfrentan, a pesar de las diferencias en sus realidades y entornos educativos.

Por último, otro aspecto que merece especial atención es la retroalimentación recibida por parte de los estudiantes en las preguntas abiertas, puesto que demostraron ser críticos e identificaron áreas de mejora. Lo más destacado fue su capacidad para proponer soluciones a los desafíos identificados. Los estudiantes del Colegio Humanístico destacaron por su alto nivel de pensamiento crítico y su habilidad para abordar problemas y buscar soluciones.

En resumen, esta experiencia fue enriquecedora, ya que permitió conocer de cerca a la población objetivo de este proyecto y obtener una comprensión profunda de cómo perciben el Sistema de Tutoría Inteligente (STI).

9.3. Referente a la maestría

Este proyecto, con su Producto Mínimo Viable resultante, se erige como una manifestación tangible del estudio y del conocimiento que la Maestría en Gestión de la Innovación y Tecnología (MAGIT) es capaz de ofrecer. Desde su concepción, se ha perseguido la meta de aportar significativamente a la comunidad estudiantil de décimo año, tomando en cuenta la situación tan deplorable que enfrenta el país en términos educativos, al mismo tiempo que servir como un faro de referencia para futuras investigaciones análogas.

La travesía a través de la MAGIT se ha beneficiado de la inestimable colaboración de múltiples individuos que han allanado el camino para el desarrollo exitoso de las distintas etapas de esta investigación.

La estructura del plan de estudios de la maestría proporciona una perspectiva más integral, permitiendo entender con mayor amplitud cómo abordar la innovación abierta. Destaca la importancia de llevar a cabo proyectos bajo un ecosistema de innovación que facilite la participación de actores clave, esencial para lograr la sostenibilidad y la expansión de este proyecto.

A lo largo de los dos años de formación que comprende la experiencia en la MAGIT, los cursos y los profesores que los imparten han dejado una huella profunda. La sinergia entre el aporte académico de estos cursos ha dado forma a una base de conocimiento sólida y enriquecedora, que ha sido aplicada con destreza en la ejecución de este proyecto.

El impacto de la MAGIT en la investigadora ha trascendido las fronteras del ámbito académico y se han materializado en una serie de aplicaciones concretas. Estas se han desplegado en diversos terrenos, incluyendo la esfera académica, el entorno laboral y la

promoción de proyectos de emprendimiento. Cada vez más convencida de la necesidad de crear entornos y espacios de co-creación entre los diversos sectores del país.

Sin embargo, no dejamos de ser conscientes de que la mejora es un proceso constante. En esta ruta de aprendizaje se han identificado áreas de mejora para la MAGIT, las cuales incluyen: optimización de los programas de algunos cursos es una necesidad evidente, la realidad de algunos cursos ha diferido significativamente de las expectativas generadas por sus nombres, como el caso de "Indicadores de productividad científica, tecnológica y de innovación", que, al final, se ha revelado como un curso centrado en estadística. Una de las recomendaciones principales es la segregación de los cursos de proyecto en un trimestre independiente, desligándolos de los cursos optativos. La justificación subyacente radica en evitar una competencia entre prioridades, lo que optimizará el proceso de aprendizaje.

A pesar de estos desafíos y recomendaciones, se destaca que la MAGIT en su conjunto mantiene un estándar académico sobresaliente. Ofrece desafíos profesionales que inspiran a los estudiantes a desafiar lo convencional y pensar con creatividad, fomentando una mentalidad que va más allá de las limitaciones tradicionales.

Referencias bibliográficas

- Akyus, Y. (2020). Effects of Intelligent Tutoring Systems (ITS) on Personalized Learning (PL). *Creative Education*, 11(6), 953-978. <https://doi.org/10.4236/ce.2020.116069>
- Alba, C., Sánchez, J. y Zubillaga, A. (2014). Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA): pautas para su introducción en el currículo. DUALETIC. https://www.educadua.es/doc/dua/dua_pautas_intro_cv.pdf
- Aleven, V., McLaren, B.M., Sewall, J., Koedinger, K.R. (2006). The Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT): Preliminary Evaluation of Efficiency Gains. En M. Ikeda, K. Ashley y T. Chan (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems: Lecture Notes in Computer Science* (vol. 4053, pp. 61-70). Springer.
- Alpizar, M., Chavarría, L. y Oviedo, K. (2015). Percepción de un Grupo de Docentes de I y II Ciclo de Educación General Básica de Escuelas Públicas de Heredia sobre los Temas de Estadística y Probabilidad. *Actualidades Investigativas en Educación*, 15(1), 1-23. <https://doi.org//10.15517/aie.v15i1.17728>
- Alkhatlan, A. y Kalita, J. (2018). Intelligent Tutoring Systems: A Comprehensive Historical Survey with Recent Developments. *International Journal of Computer Applications*, 181(43), 1-20. <https://doi.org/10.5120/ijca2019918451>
- Amela, V. (2010). Sistema Tutor Inteligente Adaptativo para laboratorios virtuales y remotos [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio RiuNET. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13851/Trabajo%20de%20Investigacion.pdf?sequence=1>

- Arevalillo-Herráez, M., Arnau, D. y Marco-Giménez, L. (2013). Domain-specific knowledge representation and inference engine for an intelligent tutoring system. *Knowledge-Based Systems*, 49, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.04.017>
- Arias, F., Jiménez, J. y Ovalle, D. (2009). Modelo de planificación instruccional en sistemas tutoriales inteligentes. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 6(1), 155-164. <https://bit.ly/3SxG0Vj>
- Arnau, D., Arevalillo-Herráez, M., Puig, L. y González-Calero, J. (2013). Fundamentals of the design and the operation of an intelligent tutoring system for the learning of the arithmetical and algebraic way of solving word problems. *Computers & Education*, 63, 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.020>
- Badaro, S., Ibañez, L. y Agüero, M. (2013). Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Ciencia y Tecnología*, 13, 349-364. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i13.122>
- Bangor, A., Kortum, P. y Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of User Experience*, 4(3), 114-123. <https://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>
- Brooke, J. (2013). SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29-40. https://www.researchgate.net/publication/285811057_SUS_a_retrospective
- Brooke, J. (1996). SUS: a quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 8. https://digital.ahrq.gov/sites/default/files/docs/survey/systemusabilityscale%2528sus%2529_comp%255B1%255D.pdf

- Carnegie Mellon University. (2023). Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT). <https://www.cmu.edu/simon/open-simon/toolkit/tools/learning-tools/ctat.html>
- Cataldi, Z. y Lage, F. (2009). Sistemas tutores inteligentes orientados a la enseñanza para la comprensión. *EduTec*, (28), 1-19. <https://bit.ly/41ps5ET>
- Casasola, G. (2 de setiembre de 2019). Estudiantes perdieron 104 días de clases por las huelgas entre el 2018 y 2019. *Teletica*. https://www.teletica.com/nacional/estudiantes-perdieron-104-dias-de-clases-por-las-huelgas-entre-el-2018-y-2019_234912
- Castro, K. (12 de abril de 2020). Huelgas y pandemia: 3 años complicados para el sistema educativo costarricense. *CrHoy*. <https://www.crhoy.com/nacionales/huelgas-y-pandemia-3-anos-complicados-para-el-sistema-educativo-costarricense/>
- Chaves, E. (2020). Crisis del sistema educativo costarricense a consecuencia de las huelgas y la pandemia: efectos en la alfabetización estadística. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 15(19), 54-72. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/download/45219/45175/172461>
- Cohen, A., Cuypers, H, Knopper, J., Spanbroek, M. y Verrijzer, R. (s.f.). *MathDox - A System for Interactive Mathematics*. Eindhoven University of Technology. <https://www.win.tue.nl/~hansc/finalmathdox3.pdf>
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297–334.
- Cuypers, H. y Knopper, J. (2012). MathDox Select: A tool for creating SCORM packages from existing exercises. *CEUR Workshop Proceeding*, 921, 1-3. <https://ceur-ws.org/Vol-921/mathui-01.pdf>

- Darkcrist. (s.f.). Dr. Geo: diseña y manipular croquis geométricos interactivos. *Ubunlog*.
<https://ubunlog.com/dr-geo-disena-y-manipular-croquis-geometricos-interactivos/>
- Dašić, P., Dašić, J., Crvenković, B., Šerifi, V. (2016). A review of intelligent tutoring systems in e-learning. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, (13), 85-90.
<https://bit.ly/3Y7mWym>
- Durango, J. y Pascuas, Y. (2015). Los sistemas tutores inteligentes y su aplicabilidad en la educación. *Revista Horizontes Pedagógicos*, 17(2), 104-116.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5455071>
- Egea, A. (6 de marzo de 2013). Así se hizo... ¿Qué entendemos por educación para la transformación social? *Universitat de Barcelona*. <https://bit.ly/3IQCHER>
- Essonnier, N. y Nicaud, J. (2016). Aplusix web and app for fun algebra practicing. En L. Gómez, A. López y I. Candel (Eds.), *INTED2016 Proceedings: 10th International Technology, Education and Development Conference*. IATED Academy.
- European Commission. (2013). *Guía de la innovación social*. European Commission
https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Asuntos%20Sociales/guia_innovacion_social.pdf
- Giraldo, M. y Ordóñez, A. (2015). SMarth: Plataforma abierta de tutoría inteligente como soporte a los procesos de B-learning en matemáticas. En J. Sánchez (Ed.), *Nuevas Ideas en Informática Educativa: memorias del XX Congreso Internacional de Informática Educativa* (vol. 11) (pp. 567-572). TISE.
<http://www.tise.cl/volumen11/TISE2015/567-572.pdf>
- GNU. (2019). Dr. Geo, be a Geometer! <https://www.gnu.org/software/dr-geo/>
- Gómez, A. (28 de junio de 2023). *Productos notables: introducción* [video]. YouTube.
https://youtu.be/l6FH_gaVYDk?si=986UeiPYcN08_jsC

- Gómez, A. (17 de noviembre de 2021). *Solución de ecuaciones de primer grado: todo lo que debes saber* [video]. YouTube. <https://youtu.be/lolGRSlY5E?si=yUygWZr5YrbKpEjs>
- Gómez, A. (15 de febrero de 2018). *Teorema de Pitágoras: encontrar la hipotenusa* [video]. YouTube. <https://youtu.be/2UbdPiqAiHY?si=IWfjsson65qeyM0->
- Gómez, A. (30 de setiembre de 2016a). *Teorema de Pitágoras: encontrar un cateto* [video]. YouTube. <https://youtu.be/lolGRSlY5E?si=yUygWZr5YrbKpEjs>
- Gómez, A. (30 de setiembre de 2016b). *Teorema de Pitágoras: introducción* [video]. YouTube. <https://youtu.be/lolGRSlY5E?si=yUygWZr5YrbKpEjs>
- Graesser, A. C., Chipman, P., Haynes, B. y Olney, A. (2005). AutoTutor: an intelligent tutoring system with mixed - initiative dialogue. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612-618. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1532370>
- Hernandez-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hixson, N. (2012). The Middle School Algebra Readiness Initiative: An analysis of teacher outcomes and student mathematics achievement and gains. West Virginia Department of Education, Division of Teaching and Learning, Office of Research.
- Huang, H., Chen, Y., Rau, P-L. (2021). *Exploring acceptance of intelligent tutoring system with pedagogical agent among high school students*. Universal Access in the Information Society. <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00835-x>
- Jia, J., Miao, Y. (2021) The Customized Mathematic Instruction Supported by an Intelligent Tutoring System and Its Effect During the COVID-19 Epidemic. En R. Li, S. Cheung, C. Iwasaki, L-F. Kwok y M. Kageto. (Eds), *Blended Learning: Re-thinking and*

Redefining the Learning Process (pp. 176-187). Springer
https://doi.org/10.1007/978-3-030-80504-3_15

Khan, I., Ahmad, A., Jabeur, N. y Mahdi, M. (2021). An artificial intelligence approach to monitor student performance and devise preventive measures. *Smart Learning Environments*, 8(17). <https://doi.org/10.1186/s40561-021-00161-y>

King, C., Kelvin, V., Warnars, H., Nordin, N. y Utomo, W. (2021). Intelligent Tutoring System: Learning Math for 6th-Grade Primary School Students. *Education Research International*, 2021, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/5590470>

Lewis, J., y Sauro, J. (2018). Item Benchmarks for the System Usability Scale. *Journal of Usability Studies* 13(3),158–67. <https://uxpajournal.org/item-benchmarks-system-usability-scale-sus/>

Mata, F. y Hernández-Ruiz, I. (2019). Evaluación de usabilidad para un sitio de comercio electrónico: desarrollo de una metodología y su aplicación al sitio crgourmetcoffee.com. Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e62, pp. 1-10). Universidad Nacional. <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.9>

May, S. (3 de diciembre de 2019). Costa Rica no mejora en resultados de las Pruebas PISA 2018. *Delfino*. <https://delfino.cr/2019/12/costa-rica-no-mejora-en-resultados-de-las-pruebas-pisa-2018>

Ministerio de Educación del Educador. (2018a). *Matemática 9° grado: guía del docente*. SMEcuaediciones.

Ministerio de Educación del Educador. (2018b). *Matemática 8° grado: guía del docente*. SMEcuaediciones.

Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. (2018). *Matemática 8 : libro de texto*. MINEDU.

Ministerio de Educación Pública. (2012). *Reforma curricular en ética, estética y ciudadanía programas de estudio de matemáticas: I y II Ciclo de la Educación Primaria, III Ciclo de Educación General Básica y Educación Diversificada*. MEP. <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/programadeestudio/programas/matematica.pdf>

Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory* (2ª ed). McGraw-Hill.

Ocaña-Fernández, Y., Valenzuela-Fernández, L. y Garro-Aburto, L. (2019). Inteligencia artificial y sus implicaciones en la educación superior. *Propósitos y Representaciones*, 7(2), 536-568. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.274>

OCDE. (2018). PISA 2018 Results: What students know and can do. OECD. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5f07c754-en.pdf?expires=1675461055&id=id&acname=guest&checksum=8EFD79C9A706F12E279A8F091FCC040B>

OCDE. (2017). *Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el desarrollo: lectura, matemáticas y ciencia* (Versión preliminar). OECD Publishing. https://www.oecd.org/pisa/aboutpisa/ebook%20-%20PISA-D%20Framework_PRELIMINARY%20version_SPANISH.pdf

OCDE. (s.f.). *El programa PISA de la OCDE: qué es y para qué sirve*. OCDE Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>

Olmo-Muñoz, J., González-Calero, J., Diago, P., Arnau, D. y Arevalillo-Herráez, M. (2023). Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: could they

- have been (part of) the solution? *ZDM – Mathematics Education*, 55(1), 35-48.
<https://doi.org/10.1007/s11858-022-01396-w>
- Olsina, L., Rivera, M., Papa, M. y Becker, P. (2020). Proceso de Design Science Research aplicado a la construcción de una ontología de testing de software como artefacto. *Revista Digital del Departamento de Ingeniería*, 5(1), 1-22.
<http://www.reddi.unlam.edu.ar>
- Pappas, M. y Drigas, A. (2016). Incorporation of Artificial Intelligence Tutoring Techniques in Mathematics. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 6(4), 12–16.
<https://doi.org/10.3991/ijep.v6i4.6063>
- Poveda-Vásquez, R. y Manning-Jara, G. (2021). Repercusiones de la pandemia en la Educación Matemática en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 16(20), 41-53.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/view/48474/48251>
- Programa Estado de la Nación. (2023). *Noveno Estado de la Educación 2023*. PEN, CONARE. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/8544>
- Programa Estado de la Nación. (2021). *Octavo Estado de la Educación 2021*. PEN, CONARE. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/8152>
- Programa Estado de la Nación. (2019). *Séptimo Informe Estado de la Educación*. PEN, CONARE. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/7773>
- Publicaciones Porras y Gamboa. (2017). *Matemática 8º*. Compas ERV.
http://sngstore.com/libros/8Matematica_2017/mobile/index.html#p=2
- Reyes, L. y De la Ossa, A (2008). *Diseño e implementación de un Sistema Tutor Inteligente basado en web aplicado a la resolución de ecuaciones algebraicas no lineales utilizando métodos numéricos para ingeniería* [Tesis de Licenciatura, Universidad

Tecnológica de Bolívar]. Catálogo en línea Biblioteca de la UTB.
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0049982.pdf>

Rodríguez, M. (2021). Sistemas de tutoría inteligente y su aplicación en la educación superior. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(22). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.848>

Sauro, J. y Lewis, J. (7-12 de mayo de 2011). When Designing Usability Questionnaires, Does It Hurt to Be Positive? CHI '11: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Canadá. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979266>

Singh, N., Gunjan, V., Mishra, A., Mishra, R. y Nawaz, N. (2022). SeisTutor: A Custom-Tailored Intelligent Tutoring System and Sustainable Education. *Sustainability*, 14(7), 4167. <https://doi.org/10.3390/su14074167>

Southgate, E., Blackmore, K., Pieschl, S., Grimes, S., McGuire, J. y Smithers, K. (2019). *Artificial intelligence and emerging technologies (virtual, augmented and mixed reality) in schools: A research report*. University of Newcastle Australia. <https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2019-08/apo-nid254301.pdf>

Steenbergen-Hu, S., y Cooper, H. (2014). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 331–347. <https://doi.org/10.1037/a0034752>

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational psychologist*, 46(4), 197-221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>

Vaishnavi, V. y Kuechler, W. (2015). *Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology* (2ª ed.). CRC Press.

Weitekamp, D., Harpstead, E., Koedinger, K. (2020). An Interaction Design for Machine Teaching to Develop AI Tutors. *CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376226>

Wieringa, R. (2009). Design science as nested problem solving. *Association for Computing Machinery*, (8), 1-12. <https://doi.org/10.1145/1555619.1555630>

Anexos

Anexo 1. Guía de entrevista para la identificación de necesidades

Guía de la entrevista con docente de matemática de décimo año del Colegio Humanístico	
Objetivo Determinar las habilidades matemáticas y las características que debe tener un STI para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas para los estudiantes de décimo año del Colegio Humanístico.	
Docente entrevistado	
Erick Pizarro Carillo	Docente de Educación diversificada, Colegio Humanístico.
Coordinación	
Medio de reunión	Teams
Fecha y hora	18/05/2023 1: 30 a 2:30pm (1 hora)
Guía de sesión	
Se grabará la sesión para el posterior análisis.	
Iniciar con ejemplo del prototipo	Mostrar un ejemplo de un ejercicio creado en CTAT.
Se le brindará las habilidades del III Ciclo mostrada en el programa de matemáticas vigentes.	Contenido matemático Propósito de enseñanza Procesos relevantes
Preguntas por parte del docente sobre el ejemplo y las habilidades mostradas.	
Iniciar el espacio de preguntas generadoras para el docente de Erick Pizarro	
Preguntas generadoras	
Según el programa de matemáticas vigente, ¿cuáles son los contenidos matemáticos abordados en séptimo, octavo y noveno en los que los estudiantes de décimo año muestran mayor rezago académico, según el diagnóstico aplicado a inicios del año lectivo? (mencionarlos según prioridad)	
Según los anteriores contenidos matemáticos, ¿cuáles son las habilidades o competencias que usted considera más relevantes a trabajar con los estudiantes de décimo año? ¿Por qué?	
Desde su experiencia profesional docente, ¿cómo se podrían fortalecer estas habilidades de forma integral?	

Si tuviera a su disposición un sistema de tutoría inteligente para reforzar las habilidades matemáticas de sus estudiantes ¿Qué características indispensables considera que debería tener?

Anexo 2. Guía de entrevista para la validación del diseño del STI

Guía de entrevista para la validación del diseño del STI	
Objetivo	
Validar el diseño tentativo del STI creado a partir de las necesidades planteadas por el docente del Colegio Humanístico Costarricense y con base a esta validación se realizan los ajustes necesarios para el diseño final.	
Docente entrevistado	
Erick Pizarro Carillo	Docente de Educación diversificada, Colegio Humanístico.
Coordinación	
Medio de reunión	Teams
Fecha y hora	2 de junio de 2023 2:00 pm – 3:00 pm
Guía de sesión	
Se grabará la sesión para el posterior análisis.	
Presentar el diseño de la arquitectura del STI	Explicar conceptos y las funcionalidades con las que contará. Tipo de actividades y recursos.
Se discutirá acerca de las funcionalidades presentadas y los cambios que se necesiten realizar.	Funcionalidades Contenido Diseño
Preguntas generadoras	
¿Está de acuerdo con los contenidos y las actividades planteadas en el diseño de la arquitectura del STI? ¿Por qué? ¿Qué cambiaría?	
Desde las necesidades de sus estudiantes ¿Qué otros ejercicios se podrían implementar para reforzar el proceso de enseñanza-aprendizaje?	
Según el diseño de arquitectura mostrado ¿Considera que hay algún otro elemento que sea necesario de agregar? ¿Por qué?	

Anexo 3. Guía de planificación para el grupo focal de validación del diseño del STI

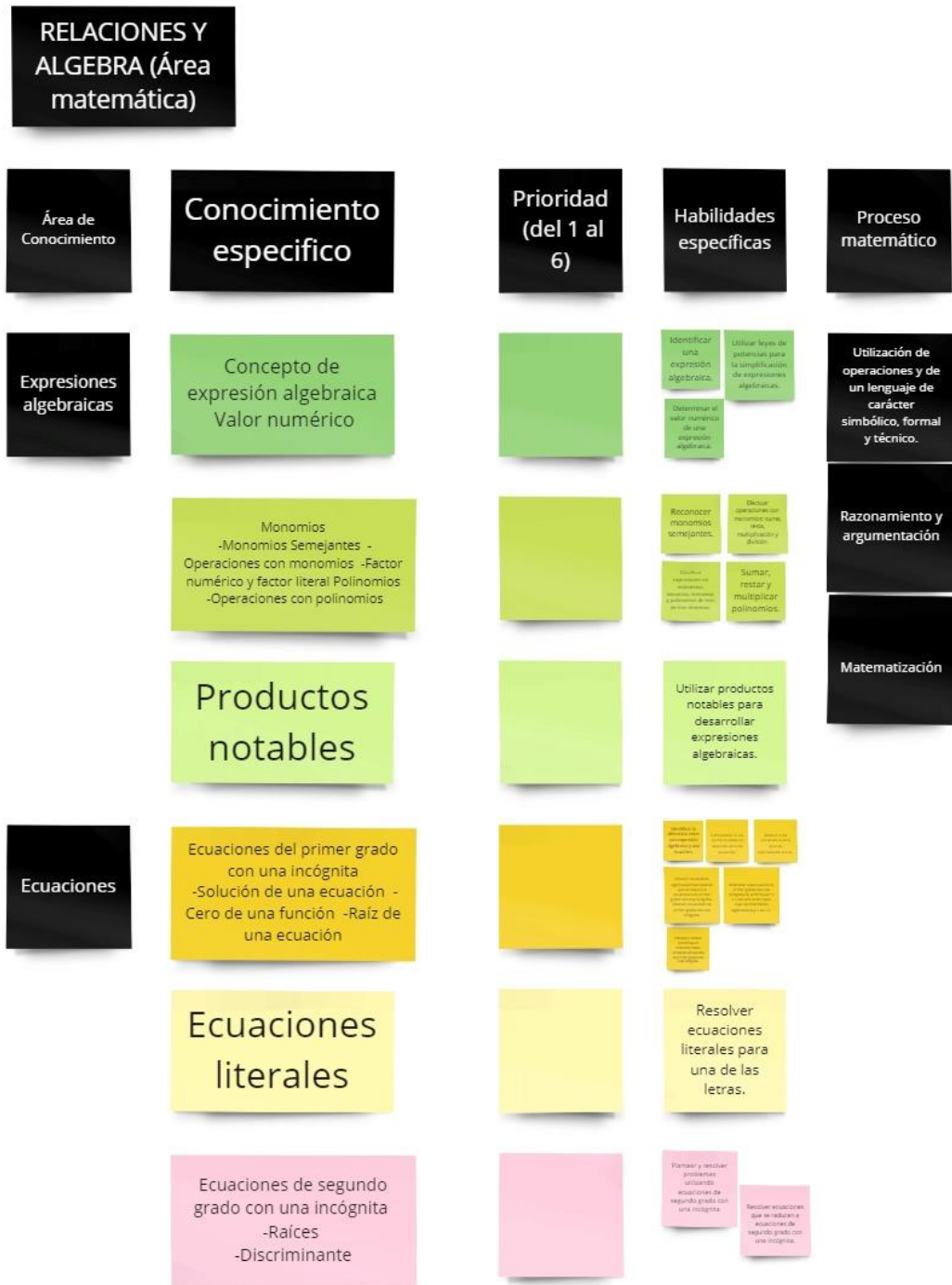
Preparación de la sesión de grupo focal con expertos en docencia y pedagogía digital		
Objetivo		
Validar el diseño tentativo del STI creado a partir de las necesidades planteadas por el docente del Colegio Humanístico Costarricense y con base a esta validación se realizan los ajustes necesarios para el diseño final.		
Cantidad de sesiones	1	
Categoría de experto		
Docentes de matemáticas	3	
Expertos en pedagogía	2	
Especialista en diseño instruccional	2	
Total	7	
Invitados		
Gloriana Carrillo	Diseñadora instruccional	glori689@gmail.com
Jesús Vargas	Diseñador Instruccional	jesusvs28@hotmail.com
Alejandra Álvarez	Experta en pedagogía	mirargeneris@gmail.com
Erick Pizarro	Docente de matemáticas 10° y 11° año	erick.pizarro.carrillo@gmail.com
Tania	Docente de matemáticas de 10° y 11° año	rmtaniap@gmail.com
Jorge Porras	Docente de matemáticas de 9° y 10° año	jorgepa83@gmail.com
Coordinación		
Medio de reunión	Teams	
Fecha y hora	6 de junio de 2023	
Guía de sesión		
Se grabará la sesión para el posterior análisis.		
Iniciar con una breve explicación del proyecto.	Problema, objetivo del proyecto, los contenidos matemáticos y los procesos relevantes seleccionados.	

	Objetivo de la actividad
Presentar el diseño de la arquitectura del STI	Explicar conceptos y las funcionalidades con las que contara. Tipo de actividades y recursos.
Se discutirá acerca de las funcionalidades presentadas y los cambios que se necesiten realizar.	Funcionalidades Contenido Diseño
Preguntas generadoras	
¿Están ustedes de acuerdo o en desacuerdo con el diseño propuesto como solución al problema planteado? ¿Por qué?	
Desde la experiencia de cada uno de ustedes en sus campos de especialización ¿Cuáles son otras necesidades que no son cubiertas actualmente y que podrían ser prioritarias para el proceso de enseñanza-aprendizaje?	
Desde su experiencia profesional ¿Qué funcionalidades de las presentadas excluiría del diseño propuesto?	
Si tuvieran a su disposición un sistema de tutoría inteligente para reforzar las habilidades matemáticas de sus estudiantes ¿Qué características indispensables consideran hacen falta?	

Anexo 4 Guía para la delimitación del prototipo del STI

Figura A4.1

Delimitación del prototipo en relaciones y álgebra

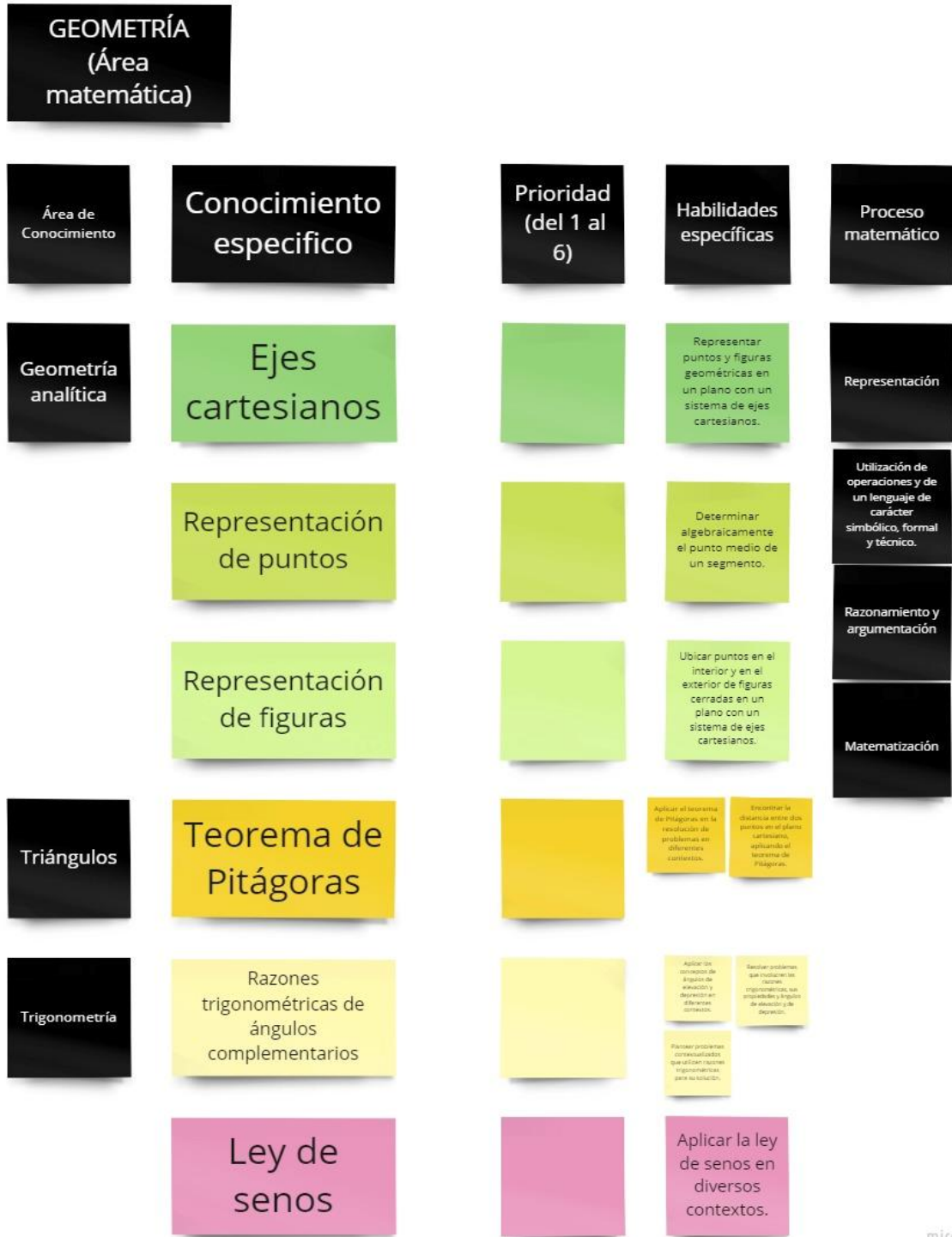


miro

Fuente: elaboración propia a partir de la actividad 6.2

Figura A4.2.

Delimitación del prototipo en geometría



miro

Fuente: elaboración propia a partir de la actividad 6.2

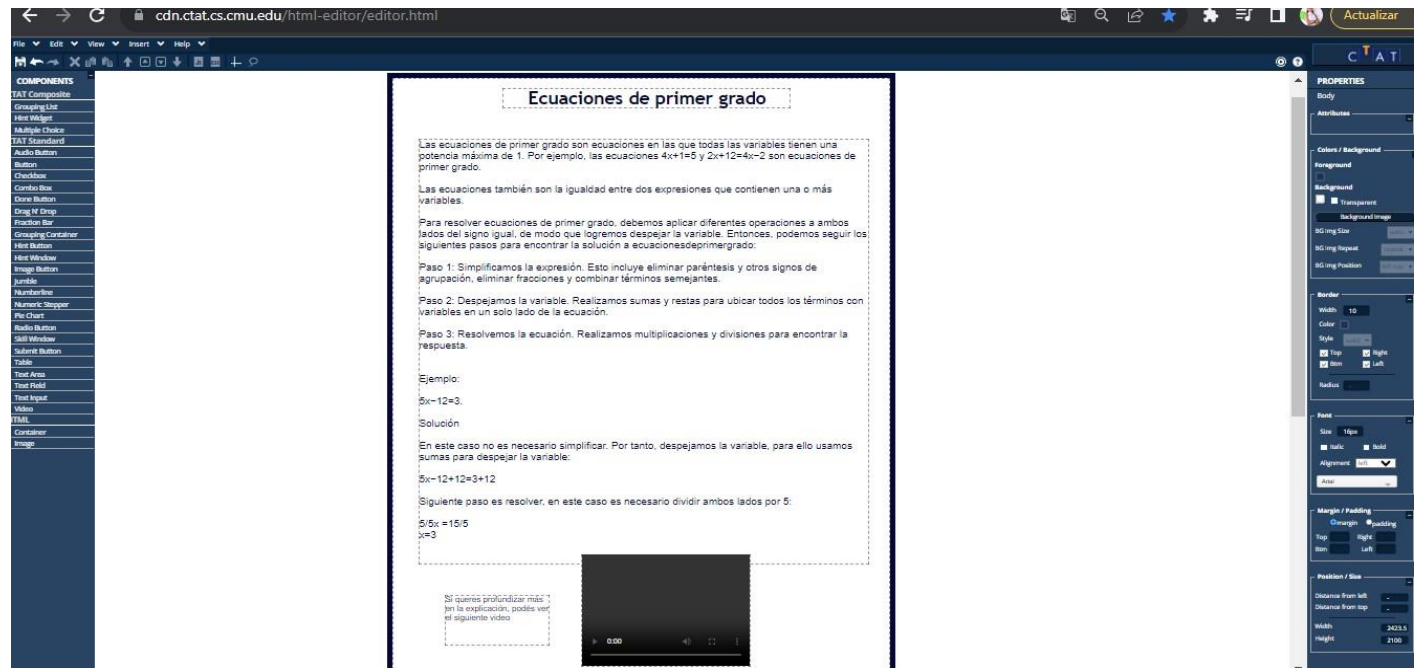
Anexo 5 Desarrollo del STI desde la parte de configuración y diseño

Como parte del desarrollo y configuración de los ejercicios se tuvo que trabajar en diferentes formatos de CTAT, HTML para configurar la parte gráfica y el ejecutable para configurar y programar las respuestas correctas y las diferentes pistas.

En este anexo se mostrarán las imágenes del sistema por detrás para llegar al resultado que se mostró en la sección 6.4.

Figura A5. 1.

HTML ejercicio 1



Fuente: elaboración propia

Figura A5.2.

Diseño y arquitectura del ejercicio 1

The image displays a learning management system interface for a math exercise. On the left, a page titled "Ecuaciones de primer grado" provides instructions and an example problem. In the center, a dialog box titled "Edit Hint and Success Messages from state1 to state2" allows editing of hints and success messages for different states. On the right, a state transition diagram shows the progression from an initial state through various hints and success messages to a final state.

Ecuaciones de primer grado

Las ecuaciones de primer grado son ecuaciones en las que todas las variables tienen una potencia máxima de 1. Por ejemplo, las ecuaciones $4x+1=5$ y $2x+12=4x-2$ son ecuaciones de primer grado.

Las ecuaciones también son la igualdad entre dos expresiones que contienen una o más variables.

Para resolver ecuaciones de primer grado, debemos aplicar diferentes operaciones a ambos lados del signo igual, de modo que logremos despejar la variable. Entonces, podemos seguir los siguientes pasos para encontrar la solución a ecuaciones de primer grado:

Paso 1: Simplificamos la expresión. Esto incluye eliminar paréntesis y otros signos de agrupación, eliminar fracciones y combinar términos semejantes.

Paso 2: Despejamos la variable. Realizamos sumas y restas para ubicar todos los términos con variables en un solo lado de la ecuación.

Paso 3: Resolvemos la ecuación. Realizamos multiplicaciones y divisiones para encontrar la respuesta.

Ejemplo:
 $5x-12=3$
 Solución
 En este caso no es necesario simplificar. Por tanto, despejamos la variable, para ello usamos sumas para despejar la variable:
 $5x-12+12=3+12$
 Siguiendo paso es resolver, en este caso es necesario dividir ambos lados por 5:
 $5/5x = 15/5$
 $x=3$

Si quieres profundar más en la explicación, puedes ver el siguiente video:

Ejercicio 1

Un bebé recién nacido tiene 300 huesos. Esto es, 94 más que en la edad adulta. Para calcular la cantidad de huesos que tiene un adulto, se puede modelar la situación mediante una ecuación de primer grado con una incógnita. Entonces: Si x representa la cantidad de huesos de un adulto, $x + 94 = 300$.

Resuelve el siguiente ejercicio para saber cuántos huesos tiene un adulto.

Note: No agregar espacios

$x+94 = 300$
 $x = 300-94$
 $x = 206$

Quando clicas las opciones en cada casilla es necesario de HTML. Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que está incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Edit Hint and Success Messages from state1 to state2

Please Edit Hint Message 1:
 Se debe añadir el mismo número opuesto que se utilizó al otro lado como miembros de igualdad

Please Edit Hint Message 2:
 El número opuesto es -94

Please Edit Hint Message 3:
 La respuesta es 300-94

Clear Hints Add Hint Level More Options Done Cancel

Copy hints from the following link:
 Select one

Copy hints from the following rule:
 None

State Transition Diagram:

```

    graph TD
      Start["x+94+300"] --> S1["state1"]
      S1 --> H1["1. respuesta1, x"]
      H1 --> S2["state2"]
      S2 --> H2["2. respuesta4, 300-94"]
      H2 --> S3["state3"]
      S3 --> H3["5. respuesta7, x"]
      H3 --> S4["state4"]
      S4 --> H4["7. respuesta8, 206"]
      H4 --> End["9. done, -1"]
    
```

Fuente: elaboración propia

Figura A5.3.

Diseño y arquitectura del ejercicio 2

Ecuaciones de primer grado

Ejercicio 2

Para cada enunciado, escribe una ecuación, ver el primer ejemplo que se muestra en la tabla.

Nota: las fracciones se colocan con '/' (Ejemplo: $\frac{2}{3}$). No agregar espacios.


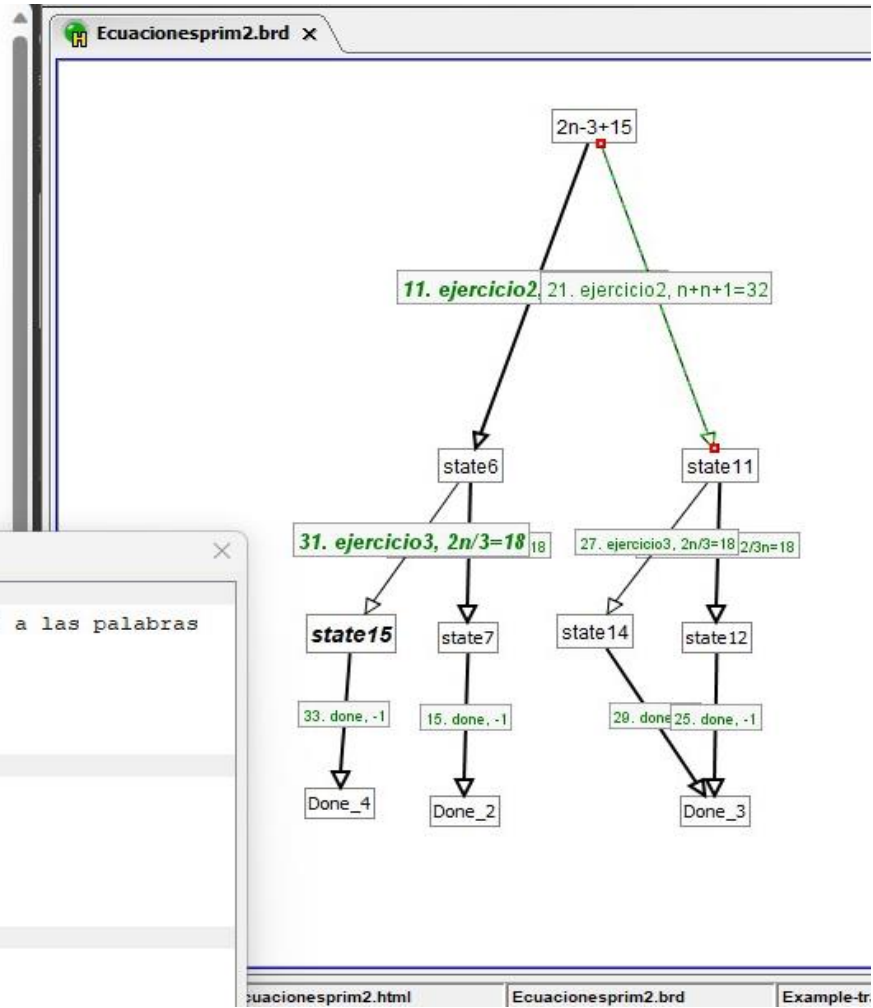
El doble del número n disminuido en 3 es igual a 15. $2n - 3 = 15$

La suma del número n y el posterior es 32.

Las dos terceras partes de n equivalen a 18.

Cuando comencé las explicaciones en cada capítulo es necesario dar ENTER. Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que está incorrecto, de lo contrario, aparece en verde.

USAR el botón Hint al momento de ayudar para resolver el problema. Da clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

Edit Hint and Success Messages from 2n-3+15 to state11

Please Edit Hint Message 1:
A lo primero que debes prestar atención es a las palabras 'suma' y 'posterior'

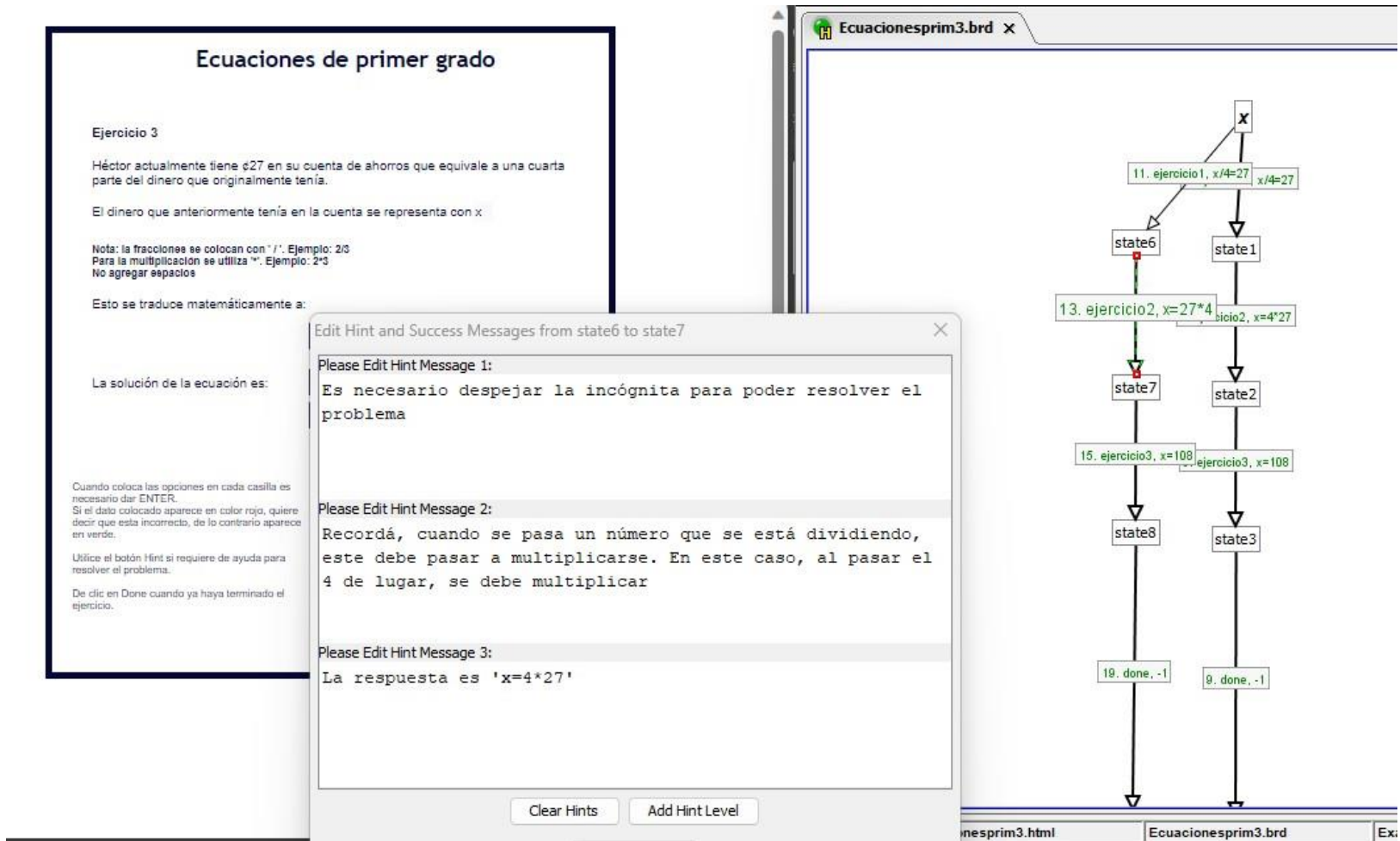
Please Edit Hint Message 2:
Prestar atención a los espacios

Please Edit Hint Message 3:
La respuesta es 'n+n+1=32'

Fuente: elaboración propia

Figura A5.4.

Diseño y arquitectura del ejercicio 3



Fuente: elaboración propia

Figura A5.5.

Diseño y arquitectura del ejercicio 4

The image displays two parts of a software interface for solving linear equations. On the left is the user-facing interface, and on the right is the state-based architecture diagram.

User Interface (Left):

- Instruction: "Despeje las siguientes ecuaciones de primer grado:"
- Notes: "Nota: la fracciones se colocan con '/'. Ejemplo: 2/3", "La multiplicacion se representa con '*'. Ejemplo 2*3", "No agregar espacios"
- Equation 1: $2x - 34 = 120$
- Input fields for equation 1: $2x=120+34$, $2x=154$, $x=154/2$, $x=77$
- Equation 2: $10x+5=3x+12$
- Hint dialog box (state6 to state7):
 - Message 1: "Debés despejar la incógnita"
 - Message 2: "Para despejar la incógnita en este caso el 7 que está multiplicando, pasa a dividir al otro lado"
 - Message 3: "La respuesta es 'x=7/7'"

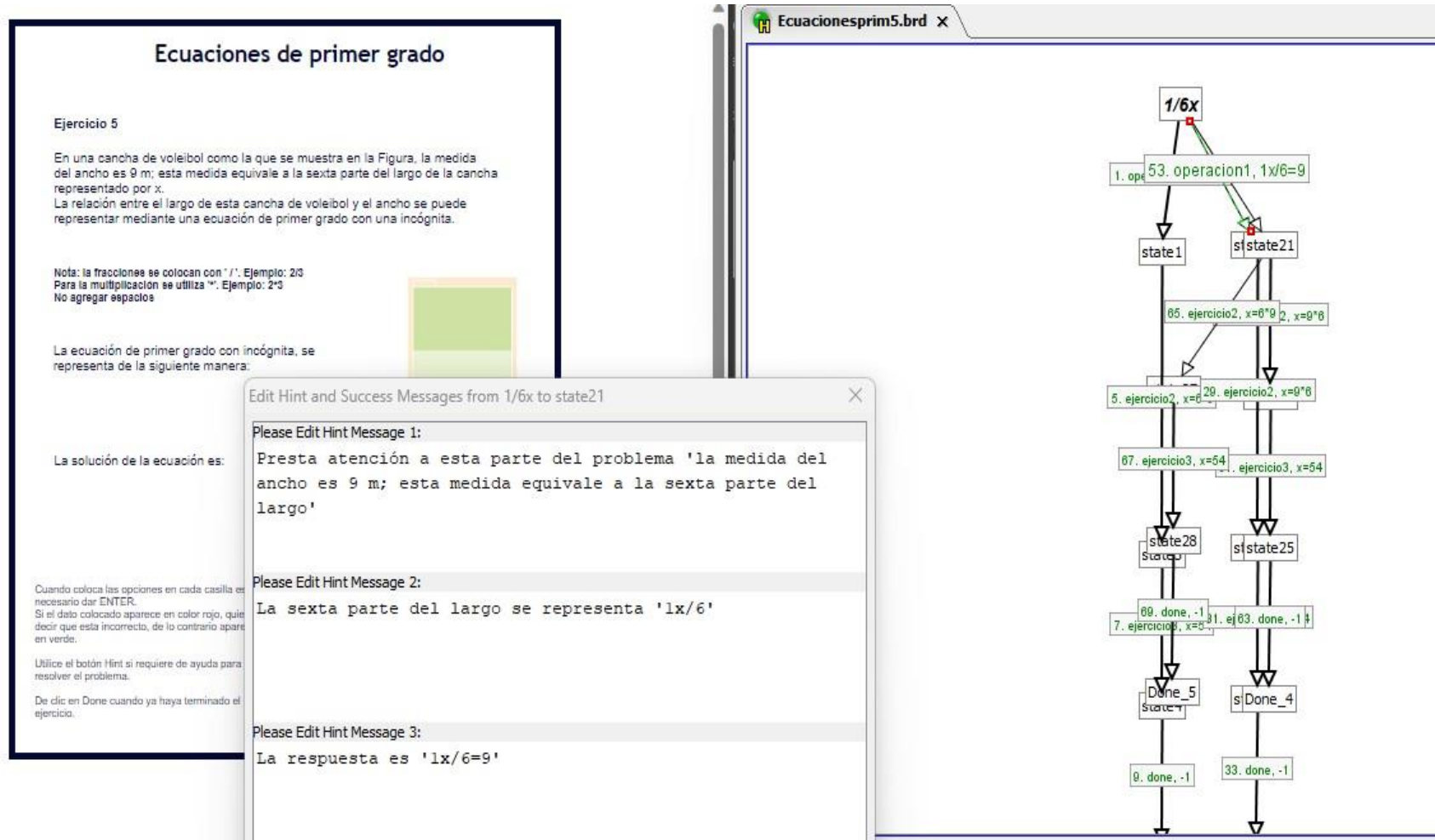
State-based Architecture (Right):

- Diagram title: "Ecuacionesprim4.brd x"
- Flow: state6 → 15. ejercicio8, x=7/7 → state7 → 17. ejercicio9, x=1 → state8 → 19. ejercicio10, 6x-4=8 → state9 → 21. ejercicio11, 6x=8+4 → state10 → 23. ejercicio12, 6x=12
- Bottom tabs: "Ordered", "state4", "Ecuacionesprim4.html", "Ecuacionesprim4.brd", "Ex"

Fuente: elaboración propia

Figura A5.6.

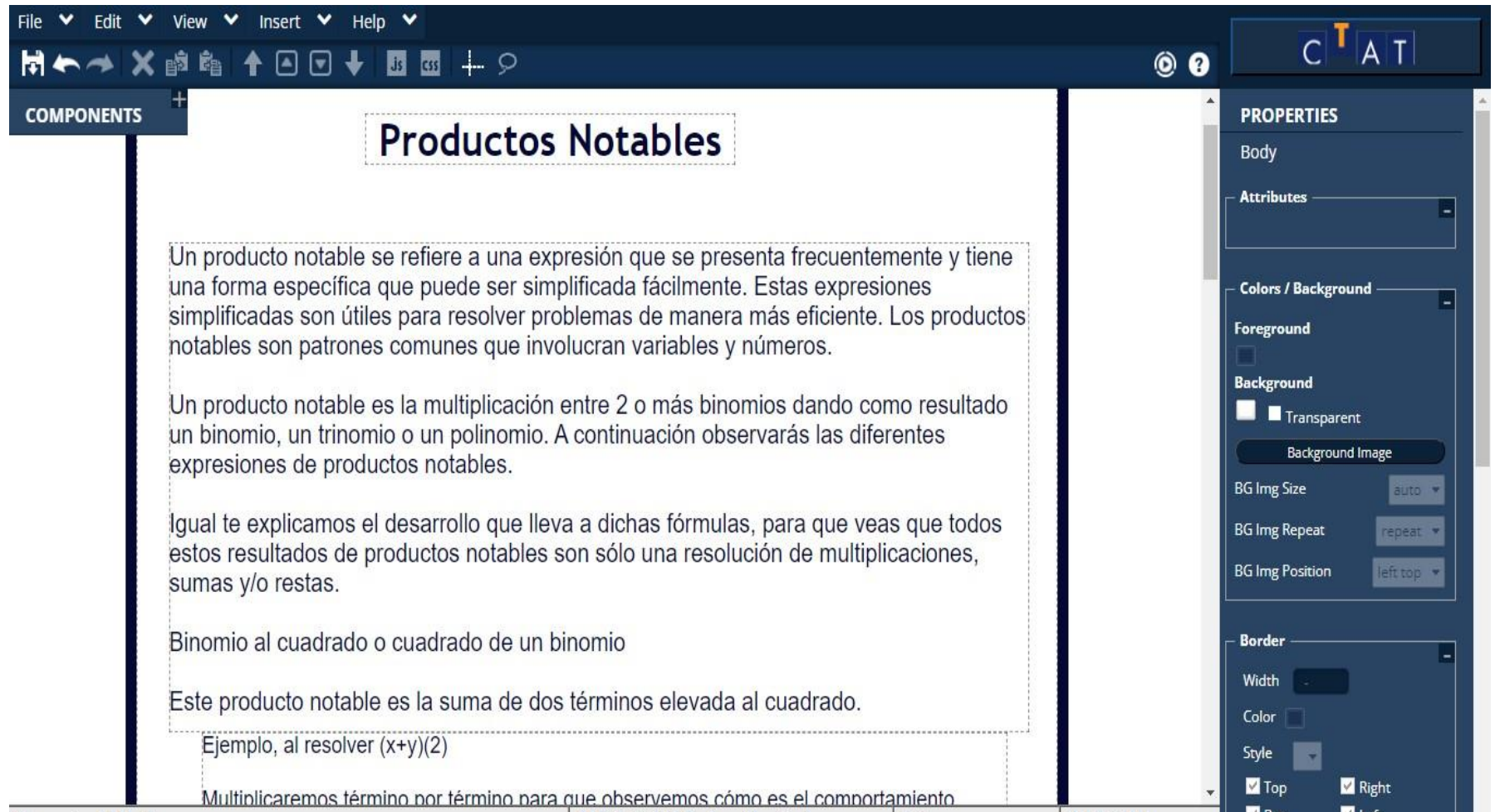
Diseño y arquitectura del ejercicio 5



Fuente: elaboración propia

Figura A5.7.

HTML ejercicio 6



Fuente: elaboración propia

Figura A5.8.

Diseño y arquitectura del ejercicio 6

Para profundizar más en la explicación, podés ver el siguiente video



Ejercicio 1

Una finca está parcelada tal como muestra la Figura 1. En cada región sembraron diferentes productos.

*Nota: Nota: Colocar el exponente dentro de un paréntesis. Ejemplo $x(2)$ o $(a-b)(2)$
Para la multiplicación se utiliza '*'. Ejemplo: $2*3$
No agregar espacios*

¿Qué área corresponde al cultivo de espinacas?

Respuesta =

¿Cuál es la expresión de producto notable que permite determinar el área total de la finca?

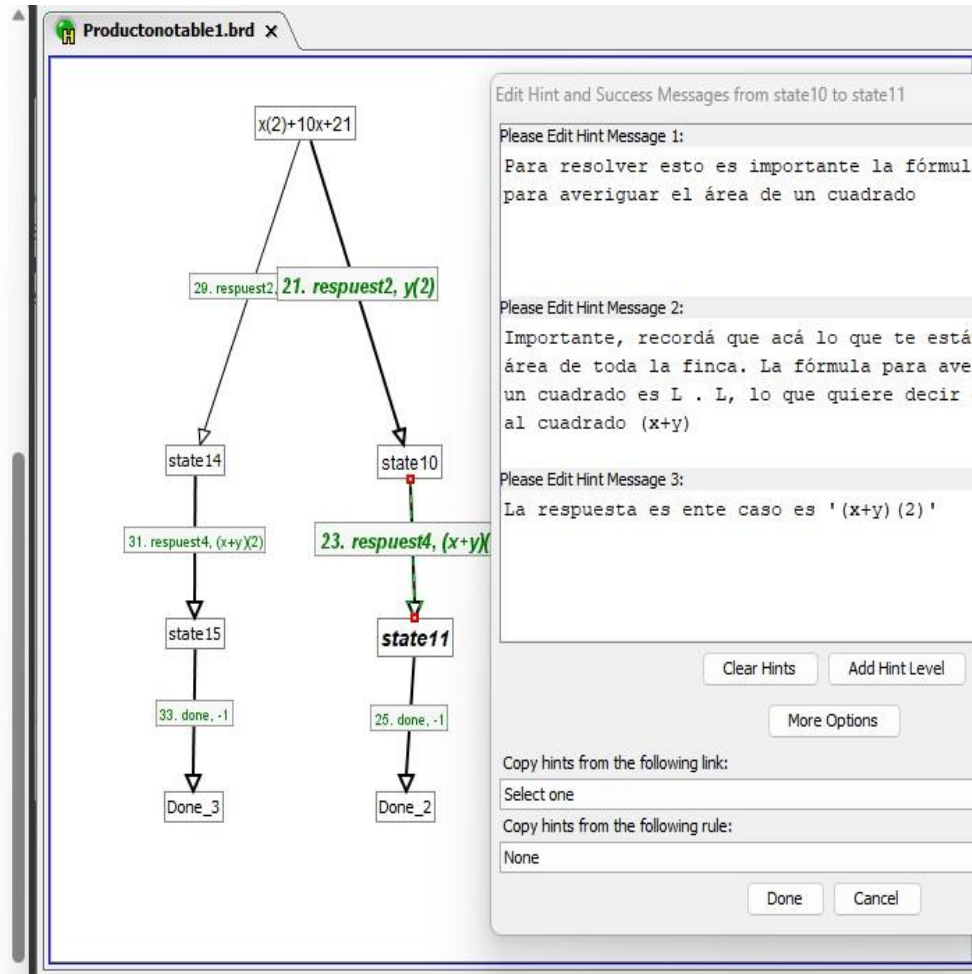
Respuesta =

Cuando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.

Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que esta incorrecto, de lo contrario aparece en verde.

Útilice el botón Hint si requiere de ayuda para resolver el problema.

De clic en Done cuando ya haya terminado el ejercicio.

Fuente: elaboración propia

Figura A5.9.

Diseño y arquitectura del ejercicio 8

The image shows a complex interface for a learning exercise. On the left, a browser window displays a page titled "Productos Notables" with "Ejercicio 3". The exercise asks the user to find the area of a square region in a diagram. The diagram shows a square with side length a , divided into four smaller squares. The bottom-left square is shaded blue. The top-right square has side length b . Below the diagram, there are input fields for the area, with examples $(a-b)(2)$ and $(a-b)(a-b)$ shown in green. A yellow question mark is in a field below. A dialog box titled "Edit Hint and Success Messages from 5+b+2 to state1" is open in the center. It contains three hint messages: 1. "Lo primero que tenemos que sacar para realizar la operación es la fórmula del producto notable", 2. "Recordá que lo que tenés que averiguar es el cuadrado que está pintado en azul. Recordá que tenemos que utilizar la fórmula L.L, esto quiere decir que se debe elevar al cuadrado. Este sería un binomio al cuadrado.", and 3. "Para obtener esta información es necesario a y b. En este caso la formula sería $(a-b)^2$ ". The dialog has buttons for "Clear Hints", "Add Hint Level", "More Options", "Copy hints from the following link:", "Copy hints from the following rule:", "Done", and "Cancel". On the right, a state transition diagram shows a flow from a state labeled $5+b+2$ to $ejercicio2, (a-b)(2)$, then to $state1$, then to $ejercicio3, (a-b)(a-b)$, and finally to $state3$. The browser's address bar shows $localhost:11012/G:/Mi%2520uni...$ and the page title is "Producto notable3.html".

Fuente: elaboración propia

Figura A5.10.

Diseño y arquitectura del ejercicio 9

Productos

Ejercicio 4

Observe la siguiente figura

Responda lo que se solicita.

1. Determine el área de la figura compuesta siguientes expresiones.

- Un producto
- Un polinomio reducido

Resolución

$(a+b)(a-b)$

$a(2)-b(2)$

Quando coloca las opciones en cada casilla es necesario dar ENTER.
Si el dato colocado aparece en color rojo, quiere decir que está incorrecto, de lo contrario aparece en verde.
Utilice el botón Hint si requiere de ayuda para

Edited Hint and Success Messages from state1 to state3

Please Edit Hint Message 1:
En esta línea debes colocar la fórmula de producto notable con la potencia.

Please Edit Hint Message 2:
Realiza la multiplicación a.a y b.b, pon atención a los símbolos matemáticos

Please Edit Hint Message 3:
La respuesta es 'a(2)-b(2)'

Clear Hints Add Hint Level More Options Done Cancel

Copy hints from the following link:
Select one

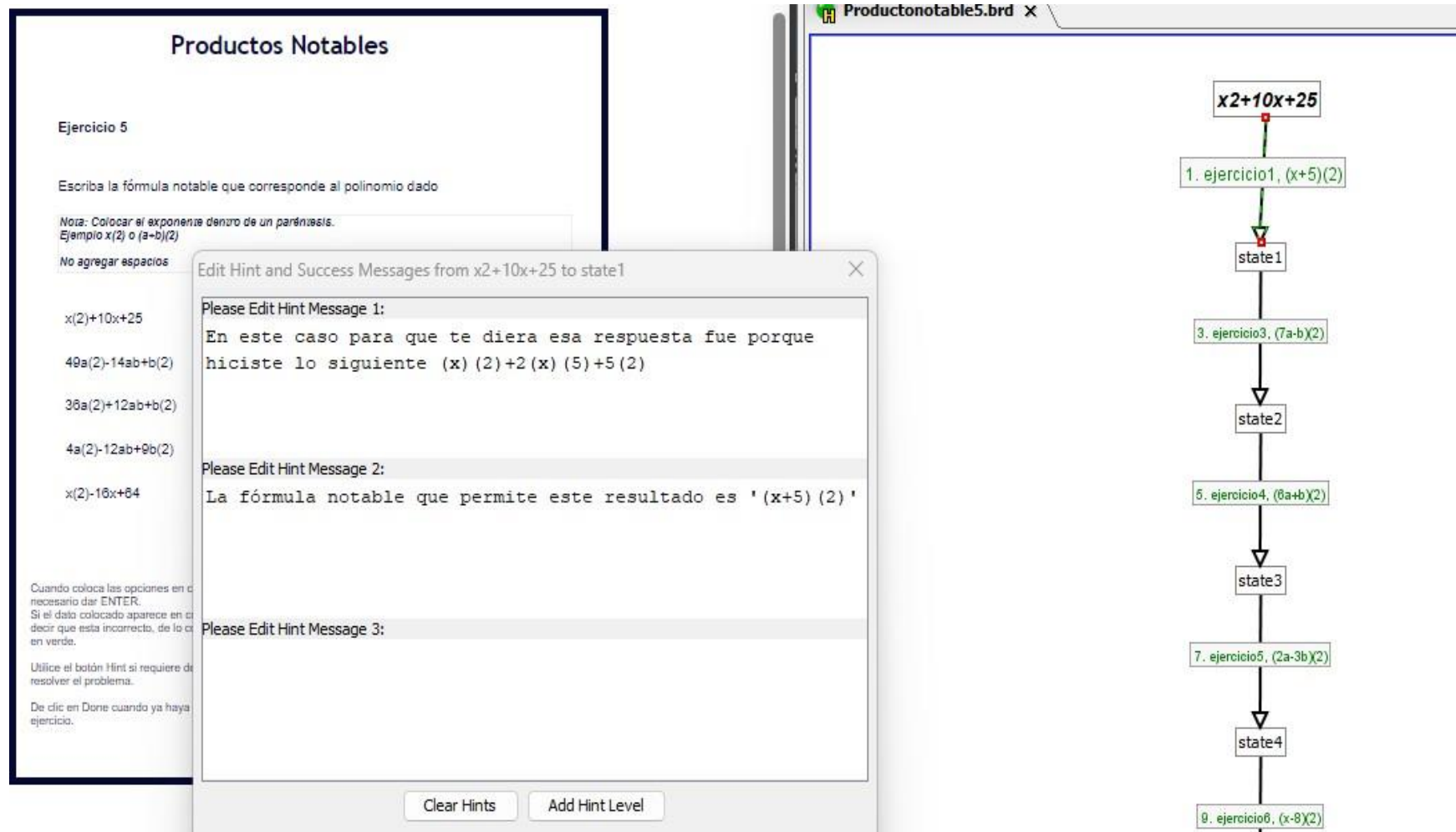
Copy hints from the following rule:
None

Flowchart transitions:
3+b+1 → Ejercicio3, (a+b)(a-b) → state1 → Ejercicio2, a(2)-b(2) → state3

Fuente: elaboración propia

Figura A5.11.

Diseño y arquitectura del ejercicio 10



Fuente: elaboración propia

Figura A5.12.

HTML del ejercicio 11

The screenshot shows a web design tool interface with a central canvas and two side panels. The canvas displays the following content:

- Header:** "Teorema de Pitágoras" in a large, bold, black font, enclosed in a dashed border.
- Text:** "antigüedad se utilizaba el teorema de pitágoras para medir terrenos en agricultura, la de ciertos objetos, obtener el volumen de sólidos como pirámides y conos. En actualidad, el teorema sigue siendo indispensable en toda área donde es necesario el uso de longitudes, como en ingeniería, agricultura, física, astronomía y hasta en la astronomía. En la matemática, el teorema permitió el fortalecimiento de algunas áreas como la trigonometría y el cálculo, además del descubrimiento de los números irracionales."
- Text:** "El teorema establece que la suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado de la hipotenusa:"
- Diagram:** A right-angled triangle with a right angle symbol at the bottom-left vertex. The vertical leg is labeled 'a', the horizontal leg is labeled 'b', and the hypotenuse is labeled 'h'. The angle at the top vertex is labeled $\alpha = 90^\circ$. Below the diagram is the equation $h^2 = a^2 + b^2$.

The left panel, titled "COMPONENTS", lists various UI elements such as "TAT Composite", "Grouping List", "Hint Widget", "Multiple Choice", "TAT Standard", "Audio Button", "Button", "Checkbox", "Combo Box", "Done Button", "Drag N' Drop", "Fraction Bar", "Grouping Container", "Hint Button", "Hint Window", "Image Button", "Jumble", "Numberline", "Numeric Stepper", "Pie Chart", "Radio Button", "Skill Window", "Submit Button", and "Table".

The right panel, titled "PROPERTIES", shows settings for the selected element, including "Attributes", "Colors / Background" (with options for foreground, background, and background image), and "Border" (with settings for width, color, style, and which sides are visible).

Fuente: elaboración propia

Figura A5.13.

Diseño y arquitectura del ejercicio 11

Ejercicio 1

Se quiere colocar un cable desde la cima de una torre de 25 metros altura hasta un punto situado a 50 metros de la base la torre. ¿Cuánto debe medir el cable?

Resuelve el problema, tomando en cuenta que el cable coincide con la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyos catetos miden:

a= 25m b= 50m

Calculamos la longitud del cable (es la hipotenusa h):

$h(2) = 25(2)+50(2)$
 $h(2) = 625+2500$

Nota: Colocar el exponente dentro de un parentesis. Ejemplo 20(2)

No agregar espacios

Edit Hint and Success Messages from state3 to state4

Please Edit Hint Message 1:
 Recordá que cuando un número tiene un exponente mayor a uno, se debe multiplicar por si mismo las veces que indique el número que se encuentra en el exponente

¿Cuántos m...
 Please Edit Hint Message 2:
 En este espacio es necesario que pongás los resultados de multiplicar dos veces 25, ya que el exponente es 2 + el resultado de multiplicar dos veces 50

Quando col...
 necesario di...
 Si el dato co...
 decir que es...
 en verde.

Utilice el bot...
 resolver el p...

De clic en D...
 Please Edit Hint Message 3:
 La respuesta es '625+2500'

Fuente: elaboración propia

Figura A5.14.

Diseño y arquitectura del ejercicio 12

En los estados $h(2)$ y $h(2)$ es necesario que utilicé el teorema de Pitágoras

Nota: Colocar el exponente dentro de un parentesis.
Ejemplo $20(2)$
No agregar espacios.

Calculamos la distancia entre AC (es la hipotenusa h):

$$h(2) = 375(2)+554(2)$$
$$h(2) = 140625+306916$$

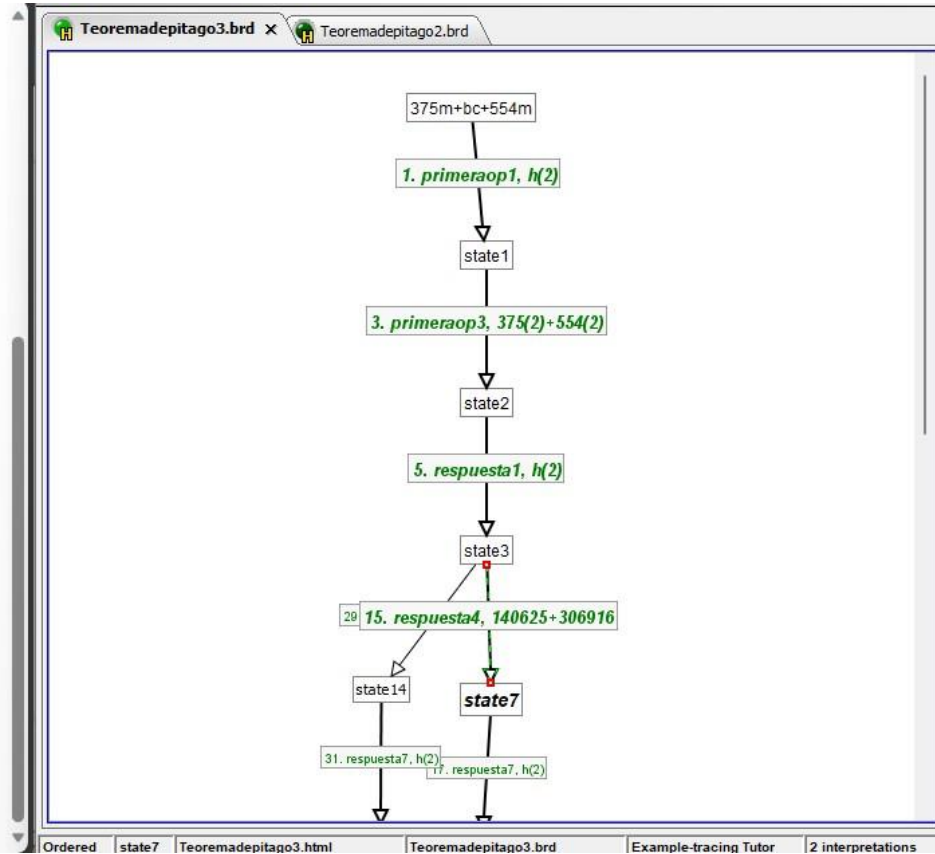
Edit Hint and Success Messages from state3 to state7

Please Edit Hint Message 1:
Recordá que cuando un número tiene un exponente mayor a uno, se debe multiplicar por sí mismo las veces que indique el número que se encuentra en el exponente

Please Edit Hint Message 2:
En este espacio es necesario que pongás los resultados de multiplicar dos veces 375, ya que el exponente es 2 más el resultado de multiplicar dos veces 554.

Please Edit Hint Message 3:
La respuesta es '140625+306916'

Clear Hints Add Hint Level



Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Instrumento: Evaluación del STI para la enseñanza de las matemáticas

Fecha de aplicación:	Formato:	Total de preguntas:	Duración estimada:			
Octubre, 2023	Encuesta digital	13	20 minutos			
Encuadre:						
Estimado docente:						
<p>Para este proyecto es muy importante conocer la percepción y la valoración que le da usted al STI desde su experiencia con el mismo. La información obtenida es anónima y será utilizada únicamente para el proyecto final de la Maestría de Gestión de la Innovación (MAGIT) de la Universidad Nacional.</p> <p>¡Listo, Empecemos!</p>						
A. Usabilidad						
A1	<p>Evalúe las siguientes preguntas respecto al uso del STI instalado en los ordenadores del Colegio Humanístico, utilizando una escala la cual va de estar “totalmente en desacuerdo” a “estar totalmente de acuerdo” (seleccione solo una respuesta por fila) *</p>					
		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
	1. Creo que usaría este sistema de tutoría inteligente frecuentemente.	()	()	()	()	()
	2. Encuentro este sistema de tutoría inteligente innecesariamente complejo.	()	()	()	()	()
	3. Creo que el sistema de tutoría inteligente fue fácil de usar.	()	()	()	()	()
	4. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este sistema de tutoría inteligente.	()	()	()	()	()
	5. Las funciones de este sistema de tutoría inteligente están bien integradas.	()	()	()	()	()
	6. Creo que el sistema de tutoría inteligente es muy inconsistente.	()	()	()	()	()

	7. Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema de tutoría inteligente en forma muy rápida.	()	()	()	()	()
	8. Encuentro que el sistema de tutoría inteligente es muy difícil de usar.	()	()	()	()	()
	9. Me siento confiado(a) al usar este sistema de tutoría inteligente.	()	()	()	()	()
	10. Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar este sistema de tutoría inteligente.	()	()	()	()	()
B. CONTENIDO						
	Evalúe las siguientes preguntas respecto al uso del STI instalado en las computadoras del Colegio Humanístico, utilizando una escala la cual va de estar “totalmente en desacuerdo” a “estar totalmente de acuerdo” (seleccione solo una respuesta por fila) *					
		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
B1	1. Creo que el sistema ofrece una variedad de herramientas de apoyo, como explicaciones adicionales y ejemplos prácticos	()	()	()	()	()
	2. Encuentro que la presentación de los conceptos matemáticos es clara y comprensible en el sistema de tutoría inteligente	()	()	()	()	()
	3. Creo que los ejemplos y las explicaciones proporcionadas son fáciles de entender	()	()	()	()	()
C. PERCEPCIÓN						
C1	¿Qué fue lo que más te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?					
C2	¿Qué fue lo que menos te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?					

Anexo 7. Tabulación de la evaluación SUS

Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Total	Varianza
2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	40	16
3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	92,5	37
2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	37,5	15
4	4	4	4	4	2	3	3	2	3	82,5	33
3	2	3	3	4	2	3	3	3	2	70	28
3	3	4	4	3	3	4	3	2	4	82,5	33
3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	72,5	29
2	3	3	3	3	4	3	3	3	4	77,5	31
3	3	3	2	2	1	2	2	2	2	55	22
1	1	3	3	1	1	1	1	2	1	37,5	15
3	3	3	2	3	3	4	3	3	2	72,5	29
4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	75	30
3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	80	32
3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	67,5	27
3	3	3	4	3	3	3	3	2	4	77,5	31
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	70	28
2	3	4	3	4	3	3	4	2	4	80	32
3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	75	30
3	3	4	4	3	3	4	3	2	4	82,5	33
3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	85	34
2	4	4	4	3	3	4	4	4	3	87,5	35
2	4	3	3	3	3	4	4	4	4	85	34

3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	82,5	33
3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	72,5	29
4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	95	38
2,76	2,92	3,16	3,12	2,96	2,68	3,12	2,92	2,68	3,04	73,40	
0,50	0,63	0,53	0,67	0,60	0,62	0,67	0,63	0,62	1,00		

k= 10

$V_i = 6,47$

$V_t = 37,43$

$\alpha = 0,92$

Anexo 8. Tabulación de la evaluación de preguntas abiertas

¿Qué fue lo que más te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?	Codificación
La parte de Teorema Pitágoras	Herramientas para explicar los temas
El hecho de que tuviese videos explicativos con algo más extenso y que ayudara en caso de no comprender. Fue bastante Útil y me parece que ya de por si es un sistema simple y de buen funcionamiento.	Herramientas para explicar los temas
Que venían explicaciones de los ejercicios	Herramientas para explicar los temas
Que te muestra tus errores y cómo mejorarlos	Retroalimentación
Las explicaciones y los videos	Herramientas para explicar los temas
Que te muestre los errores y te de información para resolverlo tú mismo	Retroalimentación
Que vienen herramientas para poder resolver los ejercicios más fácilmente y distintas formas de aprender	Herramientas para explicar los temas
Fácil, pistas, práctico	Retroalimentación
las explicaciones previas para recordar los temas vistos anteriormente	Herramientas para explicar los temas
Me parece innovador y Útil el uso de ayuda para avanzar un problema, porque la gente que se quede atascada y no se encuentre con algún experto tiene esa posibilidad.	Retroalimentación
Que sea virtual, ya que es más fácil de utilizar.	Fácil de usar
La explicación de la división y multiplicación tal vez	Herramientas para explicar los temas
Que cuando no teníamos alguna respuesta o no la sabíamos este sistema nos ayudaba	Retroalimentación
El fácil uso de la aplicación	Fácil de usar
Que había ayudas y que me decía de una vez cuando era incorrecto y así no lo puedo tener malo.	Retroalimentación

Tiene muchas herramientas que te ayudan a comprender el tema, hay cosas que ayuda a entender más fácilmente. El sistema te ayuda muchísimo a repasar conocimientos previos y reforzar las bases para entender nuevo material didáctico	Herramientas para explicar los temas
Que daba explicaciones si uno no sabía la respuesta	Retroalimentación
Los videos explicativos	Herramientas para explicar los temas
Las explicaciones y videos	Herramientas para explicar los temas
Lo que más me gusto fue el apoyo por medio de videos para poder entender la materia	Herramientas para explicar los temas
Que tenía explicación si no sabias alguna respuesta ya que te ayudaba a comprender un poco más	Retroalimentación
Los videos explicativos	Herramientas para explicar los temas
los videos	Herramientas para explicar los temas
Las explicaciones y los videos.	Herramientas para explicar los temas
Lo que más me gusto fue el apoyo por medio de videos para poder entender la materia.	Herramientas para explicar los temas

¿Qué fue lo que menos te gustó del Sistema de Tutoría Inteligente y por qué?	Codificación
Que estaban no del todo explicado los ejemplos	Explicación de ejemplos confusa
Me hubiese gustado que el sistema admitiese respuestas similares para algunos ejercicios, por ejemplo: "(a*a)" es lo mismo que "a(2)", pero al solo admitir uno limita las posibilidades. Además, hay ciertos textos con lenguaje un poco complejo, considero que debería corregirse.	Poca flexibilidad
Que a veces no funcionaba y te daba error	Inconsistencias (fallas)
Puede llegar a ser difícil de entender	Explicación de ejemplos confusa

Que no es tan flexible en las respuestas	Poca flexibilidad
Las explicaciones de los temas, no me resultaron claros	Explicación de ejemplos confusa
Que hay algunos errores y fue complicado acceder	Inconsistencias (fallas)
Su diseño incipiente o poco desarrollado, sus formas de explicar las matemáticas muy poco pedagógicas	Explicación de ejemplos confusa
la falta de flexibilidad para escribir algunas respuestas que estaban correctas, pero de otra manera	Poca flexibilidad
Que a veces existen algunos bugs, se podría mejorar aspectos como la conectividad y la digitación de datos en el sistema para que sea de más fácil acceso, sin embargo, para ser una prueba piloto el programa va por un camino correcto.	Inconsistencias (fallas)
Tenía algunas inconsistencias, y algunas de las explicaciones no se comprendía muy bien	Inconsistencias (fallas)
Los ejemplos	Explicación de ejemplos confusa
Que a veces una respuesta que era correcta la marcaba como incorrecta	Inconsistencias (fallas)
Todo me gustó	No aplica
Tenía algunas fallas técnicas, pero nada que no se puede resolver. Muchas gracias, me ayudo bastante <3	Inconsistencias (fallas)
El sistema está poco vivo, a pesar de que hay una inteligencia artificial de fondo sigo sin entender que papel desempeña aquí en la atención dirigida, siento que debería aprovecharse más. El sistema presenta varios errores que deben ser arreglados pues afectan en el avance del aprendizaje. El sistema podrá tener una función que enseñe por ejemplo a entender el lenguaje matemático o que enseñe a leer adecuadamente las explicaciones dadas normalmente no solo en el sistema si no también en matemáticas (Este Último punto puede ayudar mucho de manera general, no es algo que me disguste, más bien algo que puede contribuir en la mejora de la app)	Poca flexibilidad
Que algunas respuestas no eran correctas	Inconsistencias (fallas)

Al inicio, el error que presentaba	Inconsistencias (fallas)
Al poner las respuestas en un orden diferente no pone las opciones correctas	Poca flexibilidad
poco flexible	Poca flexibilidad
que a veces no funcionaba o la respuesta no era correcta	Inconsistencias (fallas)
Muchos errores	Inconsistencias (fallas)
Que algunas respuestas estaban malas mientras no era así	Inconsistencias (fallas)
Al poner las respuestas en un orden diferente no pone las opciones correctas	Poca flexibilidad
No me gusto el diseño de la página. También me desagrado lo poco flexible y centrado en una sola respuesta que esta el programa para ser hecho con IA.	Poca flexibilidad