

Diseño y Validación de un Decálogo para Crear Applets Matemáticos para Estudiantes con Autismo

Steven Van Vaerenbergh, Irene Polo-Blanco, Álvaro García Gómez

Resumen—Los applets matemáticos se han convertido en herramientas esenciales en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, ofreciendo representaciones interactivas y dinámicas de conceptos matemáticos. Sin embargo, para estudiantes con trastorno del espectro autista (TEA), estos applets deben diseñarse de manera que atiendan sus necesidades específicas cognitivas y de aprendizaje para resultar realmente eficaces.

A pesar del aumento de esfuerzos para apoyar a estudiantes con TEA en entornos digitales de aprendizaje, no existe ningún conjunto validado de criterios para diseñar applets matemáticos adaptados a estos estudiantes. Este estudio aborda este vacío desarrollando y validando un conjunto de guías, operacionalizadas para entornos matemáticos dinámicos como GeoGebra. En particular, este estudio avanza más allá de trabajos previos al seguir una rigurosa metodología de validación en tres fases que incluye dos rondas de revisión por expertos con análisis cuantitativo de concordancia, y al fundamentar explícitamente cada guía en los rasgos cognitivos característicos del TEA y su impacto documentado en el aprendizaje matemático. El proceso multifásico comienza con una revisión de la literatura que incorpora los rasgos cognitivos del TEA, su impacto en el aprendizaje matemático y principios de diseño de interfaz. Las guías se refinan posteriormente mediante dos rondas de validación por expertos, primero por especialistas en TEA y educación matemática, y después por expertos en el desarrollo de applets de GeoGebra. La retroalimentación de los expertos se integra de forma sistemática, asegurando tanto la solidez teórica como la viabilidad práctica. Las guías finales proporcionan un enfoque estructurado para diseñar applets matemáticos adaptados a las necesidades de estudiantes con TEA, al tiempo que sirven como base para futuras investigaciones en este campo.

Palabras clave—applets matemáticos, educación matemática, trastorno del espectro autista, entornos de aprendizaje inclusivos, validación por expertos

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los applets matemáticos se han establecido como herramientas esenciales para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. El término “applet” se refiere a una pequeña aplicación de software que se ejecuta dentro de una página web y que está diseñada para una función interactiva específica. Los applets se utilizan típicamente para visualizar dinámicamente relaciones algebraicas y geométricas complejas, ofreciendo la posibilidad de interactuar directamente con elementos matemáticos y observar los resultados de sus manipulaciones en tiempo real [1], [2]. Esta interactividad

Steven Van Vaerenbergh (e-mail: steven.vanvaerenbergh@unican.es) e Irene Polo-Blanco pertenecen al Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación, Universidad de Cantabria, Santander (España). Álvaro García Gómez pertenece al IES Diego de Siloé, Burgos (España).

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación en el marco del proyecto PID2022-136246NB-I00.

no solo mejora la comprensión de conceptos abstractos y complejos, sino que también incrementa la motivación de los estudiantes para profundizar en el estudio de las matemáticas [3]. Existe una amplia variedad de herramientas para construir este tipo de applets, y se están aplicando en contextos de aprendizaje cada vez más diversos [4].

Para que los applets matemáticos resulten efectivos en un aula inclusiva, deben diseñarse teniendo en cuenta los desafíos específicos de los estudiantes con necesidades educativas especiales (NEE) [5]. Esta consideración es especialmente importante para estudiantes con TEA, quienes representan un grupo significativo dentro de este colectivo. Aunque los individuos con TEA presentan una amplia gama de habilidades cognitivas, verbales y funcionales, suelen experimentar mayores dificultades de aprendizaje que sus compañeros de desarrollo típico [6]. El aprendizaje puede verse obstaculizado por desafíos relacionados con la atención, la memoria de trabajo, la comunicación y el pensamiento abstracto [6], [7]. La creciente prevalencia del TEA en los sistemas educativos [8] ha puesto de manifiesto que los applets matemáticos existentes siguen estando insuficientemente adaptados para esta población [9], [10]. Aunque investigaciones recientes han propuesto principios generales para crear entornos digitales accesibles (por ejemplo, [11], [12]), sigue existiendo un vacío significativo en cuanto a guías específicas y validadas adaptadas que apoyen el aprendizaje matemático de este alumnado y que integren de forma más exhaustiva la consideración de sus rasgos cognitivos. En particular, esta cuestión se alinea con esfuerzos más amplios para promover la inclusión educativa a través de tecnologías digitales [13].

Este estudio aporta dos contribuciones clave al campo: (i) proporciona el primer conjunto rigurosamente validado de guías para applets matemáticos diseñados para estudiantes con TEA, empleando una metodología estructurada en tres fases que incluye dos rondas de validación por expertos con diferentes paneles de expertos y análisis cuantitativo de concordancia; y (ii), a diferencia de trabajos previos que presentan recomendaciones generales de interfaz, las guías propuestas están explícitamente fundamentadas en los rasgos cognitivos característicos del TEA (función ejecutiva, procesamiento sensorial, fortalezas visuales, memoria de trabajo) y sus efectos documentados en el aprendizaje matemático. Esta vinculación explícita entre guías y perfiles cognitivos proporciona una base sólida que distingue este trabajo de las recomendaciones generales de accesibilidad. Es importante señalar que, si bien las guías presentadas en este estudio se operacionalizan y validan dentro de GeoGebra debido a su amplia adopción en la educación matemática y su accesibilidad de código abierto, se

basan en principios cognitivos que pueden transferirse a otros entornos interactivos de aprendizaje matemático.

El resto de este artículo está estructurado de la siguiente manera. La Sección II presenta literatura relevante sobre las características del TEA, su impacto en el aprendizaje matemático, y los principios de interacción persona-ordenador y diseño de interfaces. Basándose en estos hallazgos, la Sección III detalla la metodología empleada para desarrollar las guías, estructurada en tres fases: el diseño inicial basado en la literatura (Sección III-A), la validación por expertos en TEA y educación matemática (Sección III-B), y la validación adicional por expertos en desarrollo de applets de GeoGebra (Sección III-C). La Sección IV presenta los resultados de estas rondas de validación, incluyendo un análisis de la retroalimentación de los expertos y las modificaciones correspondientes realizadas. Finalmente, la Sección V analiza los hallazgos, y el artículo cierra con conclusiones clave y direcciones futuras.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

II-A. Trastorno del espectro autista

El TEA es un trastorno neurobiológico del desarrollo que se manifiesta desde la infancia y persiste a lo largo de la vida de una persona. Según el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) [14], el TEA se caracteriza por dificultades en dos áreas principales: la comunicación social y los patrones de comportamiento repetitivos. Estos desafíos generalmente incluyen los siguientes rasgos en diversos grados: (1) dificultades en la comprensión del lenguaje verbal y no verbal, (2) problemas con la socialización, (3) preferencia por rutinas estrictas, lo que puede ocasionar resistencia a los cambios, y (4) sensibilidades sensoriales variadas, que van desde la hipersensibilidad a la hiposensibilidad a estímulos visuales, auditivos o táctiles.

Estudios recientes indican que hasta un 70 % de los individuos con TEA tienen condiciones comórbidas como el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) o Trastornos de Ansiedad, lo cual puede complicar aún más su experiencia educativa [15]. Aproximadamente un 33 % de los estudiantes con TEA tienen también discapacidades intelectuales severas, mientras que alrededor de un 42 % muestran capacidades intelectuales en el rango medio o superior [16].

Además de los criterios diagnósticos, la investigación ha demostrado que los individuos con TEA suelen experimentar dificultades con la función ejecutiva en comparación con sus pares de la misma edad con un cociente intelectual similar. La función ejecutiva abarca un conjunto de habilidades cognitivas, entre ellas la planificación, la memoria de trabajo, el control de impulsos, la inhibición, el cambio de tareas y el inicio o supervisión de acciones [17]. Se han identificado déficits en varias de estas funciones en individuos con TEA, tales como la inhibición de respuestas [18], la flexibilidad cognitiva [19] y la memoria de trabajo [20].

Asimismo, los estudios sugieren que las personas con TEA frecuentemente enfrentan desafíos tempranos en el ámbito de la atención [21]. Por otro lado, las habilidades lectoras en estudiantes con TEA son muy diversas y están estrechamente vinculadas a las competencias lingüísticas, y muchos de ellos

presentan dificultades de comprensión (por ejemplo, [22], [23]). Estos desafíos pueden generar obstáculos significativos en el aula, dificultando la participación activa de este alumnado en su proceso de aprendizaje [10].

Por otro lado, también conviene destacar las fortalezas comunes que presentan las personas con TEA. Por ejemplo, Grandin [24] resalta sus habilidades para responder a estímulos visuales y su habilidad natural para pensar y razonar a través de imágenes y sistemas visuales. Los estudiantes con TEA también a menudo muestran atención meticulosa al detalle [25] y una buena capacidad de adaptación a las rutinas [6]. Al diseñar materiales instruccionales, es importante considerar tanto los desafíos como las fortalezas que el alumnado con TEA puede presentar, con el fin de mejorar la participación y apoyar la comprensión conceptual. Los docentes deberían adaptar el entorno y los métodos de enseñanza para ajustarse tanto a los desafíos como a las fortalezas del estudiantado con TEA [6], [26].

II-B. TEA y matemáticas

La adquisición de habilidades lógico-matemáticas en individuos con TEA es un aspecto relevante tanto para su desarrollo educativo como para su inclusión social y ocupacional. Según Oswald et al. [27], la capacidad de resolver problemas matemáticos aplicados está asociada con el rendimiento académico, las habilidades de resolución de problemas cotidianos y los resultados laborales, lo que pone de relieve la importancia de fomentar estas competencias desde una perspectiva educativa integral.

Sin embargo, debido a algunas de las características mencionadas anteriormente, los estudiantes con autismo a menudo enfrentan desafíos específicos en el desarrollo de estas habilidades lógico-matemáticas [28], [29]. En relación con este aspecto, diversos estudios como el publicado por Sambade et al. [30] indican que las dificultades en el funcionamiento ejecutivo y el lenguaje inciden directamente en el desempeño en matemáticas de los estudiantes con TEA, afectando la generalización del aprendizaje, así como la planificación y organización, la atención y la resolución de problemas. Además, como señala Alderson-Day [31], una comprensión deficiente del lenguaje puede representar un obstáculo adicional para asimilar términos matemáticos y enunciados. En la misma línea, investigaciones recientes han identificado que las habilidades visuoespaciales y lingüísticas son el factor más predictivo para el rendimiento matemático temprano [29]. Otras investigaciones, como la de [32], han vinculado las dificultades que los estudiantes con autismo enfrentan al resolver problemas matemáticos a una baja inhibición, comprensión verbal o teoría de la mente.

Como se mencionó anteriormente, otras características típicas del trastorno, como el fuerte procesamiento visual, pueden ser clave para potenciar la competencia matemática de los estudiantes con TEA. Esto enfatiza aún más la importancia de una comprensión profunda de sus necesidades y potencial para diseñar estrategias pedagógicas efectivas que promuevan su aprendizaje matemático. En este sentido, diversos estudios centrados en el aprendizaje matemático de estos estudiantes

proponen adaptaciones que incluyen apoyos visuales, estructuración de tareas o el uso de las áreas de interés del estudiante para involucrarlo en la resolución de problemas [33]–[36].

II-C. Interacción persona-ordenador

La interacción persona-ordenador (HCI, del inglés Human-Computer Interaction) es un campo interdisciplinario que se ocupa del diseño, la evaluación y la implementación de sistemas informáticos interactivos para el uso humano [37]. En contextos educativos, la investigación en HCI examina cómo los estudiantes interactúan con herramientas y entornos digitales, con particular atención a la usabilidad, las demandas cognitivas y la alineación entre el diseño de la interfaz y los objetivos pedagógicos [38]–[41]. A medida que las tecnologías educativas han adquirido una presencia cada vez mayor en la enseñanza de las matemáticas, comprender los principios que rigen la interacción persona-ordenador efectiva se ha vuelto esencial para crear herramientas que apoyen, en lugar de obstaculizar, el aprendizaje.

Una preocupación central en HCI, particularmente relevante para aplicaciones educativas, es la gestión de la carga cognitiva. La Teoría de la Carga Cognitiva distingue entre carga intrínseca (inherente al material de aprendizaje), carga extrínseca (impuesta por un diseño instruccional deficiente) y carga pertinente (dedicada a la construcción de esquemas y al aprendizaje) [42], [43]. Un diseño de interfaz efectivo minimiza la carga cognitiva extrínseca, permitiendo a los estudiantes dirigir sus recursos mentales hacia la comprensión de conceptos matemáticos en lugar de navegar la interfaz misma [44]. Este principio se vuelve especialmente crítico en entornos matemáticos dinámicos, donde los estudiantes deben procesar simultáneamente relaciones matemáticas e interactuar con controles de la interfaz. La investigación ha demostrado que las interfaces mal diseñadas pueden aumentar significativamente las demandas cognitivas, conduciendo a efectos de atención dividida y resultados de aprendizaje reducidos [45]. Además, es importante señalar que se debe encontrar un equilibrio entre los principios de HCI. Algunos estudios han advertido que una adhesión excesivamente rígida a la simplificación puede ser contraproducente. En particular, para reducir la carga cognitiva, los diseñadores podrían inadvertidamente eliminar el *esfuerzo cognitivo* que beneficia el aprendizaje profundo [46].

Los principios de diseño visual constituyen otro aspecto fundamental de la HCI que impacta directamente en el software educativo. La organización y presentación de información en pantalla deben apoyar las capacidades perceptivas y relacionadas con la atención de los usuarios [47]. Los principios gestálticos de agrupamiento visual, como la proximidad y la similitud, guían a los diseñadores para crear estructuras visuales coherentes que ayudan a los usuarios a comprender las relaciones entre los elementos de interfaz [48]. En entornos de aprendizaje matemático, la claridad visual se vuelve crucial para representar conceptos abstractos y apoyar la comprensión conceptual. El uso estratégico de jerarquía visual, patrones de disposición consistentes y el uso apropiado de color y contraste contribuyen a reducir el esfuerzo perceptivo requerido para interpretar la información en pantalla [49].

Un tercer pilar de la HCI, relevante para la tecnología educativa, consiste en el diseño de la interacción, que se ocupa de cómo los usuarios manipulan y reciben retroalimentación de los sistemas digitales. Los principios de diseño de interacción de Norman enfatizan la importancia de la visibilidad (hacer que las funciones sean descubribles), la retroalimentación (confirmar las acciones del usuario) y la consistencia (mantener un comportamiento predecible) [50]. Estos principios adquieren particular importancia en entornos matemáticos, donde los estudiantes pueden manipular objetos matemáticos directamente y observar las consecuencias de sus acciones en tiempo real. Esta forma de manipulación directa, cuando está bien implementada, puede proporcionar un apoyo poderoso para la exploración matemática y la prueba de hipótesis [51], [52]. La inmediatez de la retroalimentación en dichos entornos permite a los estudiantes desarrollar intuiciones sobre relaciones matemáticas a través de la experimentación activa, apoyando enfoques constructivistas del aprendizaje [53]. Sin embargo, el diseño de estas características interactivas debe equilibrar cuidadosamente la capacidad de respuesta con la estabilidad, asegurando que las manipulaciones se sientan naturales mientras se mantiene la precisión matemática [54].

En el contexto de la educación matemática específicamente, la investigación en HCI ha examinado cómo diferentes formatos de representación y modalidades de interacción apoyan o restringen el razonamiento matemático. Los estudios han investigado los beneficios cognitivos y desafíos de múltiples representaciones vinculadas, donde representaciones algebraicas, geométricas y numéricas se muestran simultáneamente y se conectan dinámicamente [55]. Mientras que estos entornos ofrecen oportunidades ricas para explorar conexiones matemáticas, también introducen desafíos de diseño relacionados con la complejidad visual y la atención dividida [56]. El campo sigue evolucionando hacia una comprensión más matizada de cómo las decisiones de diseño de interfaz impactan tanto la usabilidad como la naturaleza y calidad del pensamiento matemático que los entornos digitales permiten.

II-D. Consideraciones de diseño de interfaz para estudiantes con TEA

Basándose en los principios de HCI discutidos, varios autores han propuesto guías de diseño específicas para tecnologías educativas destinadas a estudiantes con TEA, fundamentadas en sus perfiles cognitivos y sensoriales específicos. Estas guías surgen de revisiones de literatura, encuestas y pruebas de aplicación práctica con usuarios.

Un principio fundamental al diseñar tecnología educativa para estudiantes con TEA es minimizar la sobrecarga sensorial y la tensión cognitiva. Santos et al. [11] y Groba et al. [12] enfatizan la importancia de reducir las distracciones y simplificar los elementos visuales para ayudar al enfoque, como usar colores apagados, diseños consistentes y evitar elementos multimedia visualmente intensivos.

Con respecto a cualquier instrucción textual incluida en el entorno digital, Pavlov [57] sugiere que las oraciones deben ser lo más cortas posible, idealmente colocando una oración por línea para evitar confusión. Además, se aconseja el uso de una

fuente clara y legible como Arial, con un tamaño de 14 puntos o más grande, para asegurar que el texto sea fácilmente legible. Para implementar énfasis, Freyhoff et al. [58] recomiendan usar texto en negrita o subrayado.

Varios autores señalan que los pictogramas deben acompañar al texto para mejorar la comprensión de individuos con TEA. Por ejemplo, Groba et al. [12] recomiendan usar imágenes para mostrar información emparejada directamente con palabras escritas para reforzar el significado. Esta guía es respaldada por Smith et al. [59], quienes encontraron que los pictogramas ayudan a aclarar las instrucciones textuales y facilitan una comprensión más rápida. Pavlov [57] añade que los botones deben ser claros, grandes y contar con texto e icono, asegurando que los controles de acción tengan etiquetas descriptivas como “Adjuntar archivo” en lugar de comandos ambiguos como “Haz clic aquí”.

El diseño de elementos interactivos debe priorizar la predictibilidad y la consistencia. Groba et al. [12] destacan la importancia de la colocación consistente de botones para fomentar un diseño de interfaz predecible, lo que puede ayudar a los estudiantes con TEA a navegar la tecnología de manera más efectiva. Cada elemento interactivo debe estar claramente etiquetado y organizado lógicamente, manteniendo una estructura directa que se alinee con las expectativas cognitivas del usuario. Enfatizando aún más la estructura, Rasche [60] recomienda usar diseños instruccionales paso a paso para aclarar las tareas y reducir la carga cognitiva para estudiantes con TEA. Apoyando esto, Abidoğlu et al. [61] señalan que los enfoques estructurados ayudan a los niños con TEA a aprender de manera más efectiva al permitirles controlar su ritmo y compromiso con el material.

En términos de dimensiones del applet, no existe una guía universal. Pueden encontrarse recomendaciones útiles en el proyecto MatesGG, que se centró en el diseño de applets de GeoGebra y su uso en el aula [62]. Allí, se adoptó una relación ancho-alto de 1,618 (o la proporción áurea), principalmente porque es cercana a una relación de aspecto de 16:10 y encaja bien en la mayoría de las pantallas modernas (incluyendo tabletas, teléfonos móviles y monitores), dejando algo de espacio para elementos de la interfaz.

Finalmente, la gestión de características de audio en tecnologías educativas requiere consideración cuidadosa. Groba et al. [12] señalan que, aunque se recomienda el habla sintetizada para facilitar la comunicación, la hiperreactividad auditiva puede llevar a incomodidad o reacciones negativas en algunos estudiantes con TEA. Por esta razón, se recomienda tener una opción para desactivar las características de audio. En el caso de plataformas como GeoGebra, no siempre es directo y puede involucrar obstáculos técnicos específicos¹.

Aunque la literatura ofrece varias recomendaciones para diseñar interfaces digitales accesibles para estudiantes con TEA, estas a menudo se presentan como principios generales sin validación o atención específica al aprendizaje matemático. En particular, encontramos una falta de guías estructuradas y validadas que tengan en cuenta los rasgos cognitivos caracte-

rísticos del TEA dentro del contexto de applets matemáticos interactivos. Con esto en mente, el presente estudio tiene como objetivo abordar este vacío proponiendo un decálogo de guías validadas específicamente diseñadas para crear applets matemáticos adaptados a estudiantes con TEA.

II-E. Validación por expertos

La validación de instrumentos es fundamental en todas las ciencias sociales para asegurar que se genere conocimiento científicamente válido. Kim [63] enfatiza que sin una validación rigurosa, la fiabilidad de los hallazgos de investigación y su generalizabilidad se ven comprometidas, particularmente debido a la naturaleza subjetiva de muchos instrumentos utilizados en la recopilación de datos. Aunque el problema de la generalizabilidad a menudo se refiere a cuestionarios [64], los principios de validación son igualmente aplicables a otros tipos de instrumentos, como listas de verificación [65]. Las técnicas de validación de instrumentos varían ampliamente, desde métodos numéricos como el análisis factorial y el Alfa de Cronbach para evaluar la fiabilidad y validez de constructo [64], hasta el juicio de expertos y el análisis de contenido empleados para asegurar la validez de contenido y la relevancia práctica [63].

Este trabajo se centra en la validación de contenido mediante juicio de expertos, una metodología que implica la evaluación por parte de individuos que son reconocidos en su campo por su experiencia y conocimientos específicos y pueden proporcionar información, evidencia, juicios y valoraciones [66]. En particular, los expertos deben proporcionar percepciones detalladas sobre la claridad, coherencia, relevancia y suficiencia del instrumento [67].

El juicio de expertos ofrece ventajas significativas, como la obtención de información detallada y de alta calidad. Sin embargo, su implementación plantea desafíos, particularmente al seleccionar expertos y determinar un número adecuado. Es esencial seleccionar criterios claros y consistentes para la elección de expertos, considerando factores como la educación, experiencia y reconocimiento académico. Además, es fundamental determinar cuidadosamente el número apropiado de expertos para asegurar un panel de validación diverso y representativo. Los paneles diversos ayudan a mitigar el impacto de sesgos individuales que pueden distorsionar las valoraciones, promoviendo una evaluación más equilibrada e integral [66]. En este sentido, investigaciones previas sobre validación de contenido sugieren que paneles de cinco a diez expertos son generalmente suficientes, siempre que los participantes estén apropiadamente cualificados y seleccionados en base a experiencia relevante [67]–[69].

Para garantizar la efectividad del proceso de validación, es importante seguir una serie de pasos organizados y bien definidos. Esto incluye crear plantillas detalladas que guíen a los expertos en la evaluación de cada guía contra criterios como claridad, relevancia y pertinencia [65], [66], [70]. Inicialmente, el proceso implica definir los objetivos y alcance del esfuerzo de validación, señalando claramente qué aspectos del instrumento están siendo validados y especificando la población objetivo y el contexto. A continuación, se procede

¹<https://geogebra.github.io/docs/manual/en/commands/PlaySound/>
Documentación de GeoGebra para incluir sonidos en applets.

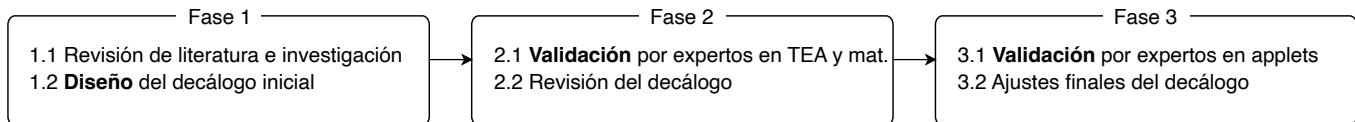


Figura 1. Fases del diseño y validación de las guías.

a la selección de expertos, donde los individuos son elegidos en base a sus cualificaciones académicas, experiencia y reconocimiento para asegurar un equilibrio de perspectivas. Una vez que los expertos están seleccionados, se les proporciona información exhaustiva sobre el instrumento y sus objetivos para garantizar evaluaciones informadas. El proceso también incluye facilitar un diálogo activo entre los expertos, permitiendo un intercambio profundo de percepciones. Finalmente, las respuestas de los expertos se revisan sistemáticamente mediante una plantilla de respuesta estructurada, lo cual ayuda a refinar el instrumento basándose en sus percepciones [71].

III. METODOLOGÍA

El diseño y validación de las guías se estructuró en tres fases, como se ilustra en la Figura 1. La Fase 1 se enfocó en el diseño inicial, traduciendo percepciones de la literatura en guías prácticas. La Fase 2 involucró validación por expertos en TEA y educación matemática, quienes revisaron y evaluaron las guías inicialmente propuestas y valoraron si abordan efectivamente las necesidades de los estudiantes con TEA. La Fase 3 consistió en una segunda ronda de validación, realizada por expertos en desarrollo de applets para la plataforma GeoGebra, enfocándose en refinar las guías desde perspectivas técnicas y funcionales. El objetivo de la segunda ronda de validación fue asegurar que los applets sean tanto fáciles de usar como efectivos en entornos educativos. En ambas rondas de validación, se realizó un análisis de concordancia de expertos para evaluar la consistencia de las evaluaciones. A continuación, cada fase se describe en detalle.

III-A. Diseño de las guías iniciales

El diseño inicial de las guías se basó en la investigación previa de la Sección II sobre aspectos cognitivos, aprendizaje matemático, principios de HCI para software educativo y consideraciones de diseño de interfaz para estudiantes con TEA. La Tabla I presenta el decálogo preliminar de guías, que se basa en la tesis de máster de Gómez Casanueva [75]. Cada guía está acompañada de una justificación que explica su base e importancia, teniendo en cuenta el perfil cognitivo y las consideraciones de diseño de interfaz para estudiantes con TEA, así como los estudios de referencia que la apoyan.

III-B. Validación de las guías por expertos en TEA y educación matemática

La primera ronda de validación se centró en evaluaciones realizadas por un equipo multidisciplinario de expertos en TEA y educación matemática (ver Fase 2.1, Fig. 1). Los expertos seleccionados debían cumplir al menos uno de los

siguientes dos criterios: i) experiencia demostrada en investigación en educación matemática para estudiantes con NEE y/o TEA, y ii) trabajo académico o aplicado en curso en educación inclusiva o especial. Se utilizó una estrategia de muestreo por conveniencia para reclutar participantes. Los expertos fueron contactados a través de colaboraciones de investigación existentes, redes profesionales e instituciones educativas.

Este proceso produjo un panel de cinco miembros que combinaba perspectivas teóricas y aplicadas a través de diferentes contextos institucionales, etapas de carrera y regiones geográficas de España. En particular, el panel estaba formado por: i) un profesor universitario en educación matemática con 35 años de experiencia en investigación y más de 10 publicaciones revisadas por pares sobre educación matemática inclusiva; ii) dos investigadores doctorales (ambos en su cuarto año) especializados en educación matemática inclusiva para estudiantes con TEA, cada uno con cinco artículos de revista publicados sobre enseñanza y aprendizaje de matemáticas en estudiantes con TEA; iii) un investigador posdoctoral (un año de experiencia posdoctoral) en educación matemática para estudiantes con TEA, con un doctorado en educación matemática y un máster en educación especial, enfocado en educación matemática inclusiva y formación de profesorado; y iv) un especialista de apoyo con formación especializada en pedagogía terapéutica y TEA, experiencia práctica en centros de educación especial y formación avanzada en psicología educativa y atención a la diversidad.

Todos los expertos estaban adscritos a universidades españolas o instituciones de apoyo educativo en diferentes regiones del país. Esta composición aseguró una evaluación desde múltiples perspectivas profesionales: un investigador senior con amplia producción científica, investigadores emergentes que investigan activamente la educación matemática específica para TEA, y un profesional con experiencia práctica en educación especial. Si bien la concentración geográfica refleja el contexto nacional del proyecto de investigación, la diversidad de experiencia a través de etapas profesionales y contextos laborales proporcionó una valoración exhaustiva tanto de la solidez teórica como de la aplicabilidad práctica de las guías.

Inicialmente, se envió un correo electrónico a los expertos explicando el propósito de la investigación. Se adjuntaron dos documentos a este mensaje: el diseño preliminar de las guías y el instrumento de evaluación. Este último solicitaba que los expertos evaluaran la claridad, relevancia/interés y pertinencia de cada guía usando una escala Likert de cinco puntos (1 – Muy Bajo, 2 – Bajo, 3 – Intermedio, 4 – Alto, 5 – Muy Alto). Sus valoraciones tuvieron en cuenta las necesidades específicas y características de las personas con TEA en el contexto de la educación matemática. Este instrumento de

Tabla I
RESUMEN DE LAS GUÍAS PRELIMINARES, SU JUSTIFICACIÓN Y ESTUDIOS DE REFERENCIA.

Guía	Justificación	Referencias
G1. Instrucciones breves y claras en la parte superior.	La simplicidad de las instrucciones puede ayudar ante déficits de atención y dificultades de comprensión del lenguaje.	[6], [14], [42], [43], [57]
G2. Uso de letras mayúsculas y resaltar palabras clave en negrita, como verbos o conceptos.	Esto puede ayudar con posibles dificultades de comprensión lectora y aprovechar un frecuente buen reconocimiento instantáneo de palabras.	[22], [23], [58]
G3. Proporcionar instrucciones con pictogramas y un botón para ocultarlas o mostrarlas según las necesidades de cada estudiante.	Esto puede apoyar el uso de estrategias visuoespaciales y la comprensión lectora.	[12], [57], [59], [72]
G4. Acompañar los botones de interfaz estándar del applet con un pictograma (siempre el mismo) y colocarlos en la misma posición para todos los applets.	Esto puede proporcionar señales visuales consistentes, lo que puede mejorar la comprensión de la interfaz estándar del applet. El uso de un pictograma consistente en la misma posición a través de los applets ayuda a crear un entorno de aprendizaje predecible y de apoyo.	[12], [14], [24], [50]
G5. Proporcionar una tarea estructurada, distinguiendo cada paso claramente.	Esto puede ayudar con posibles déficits de función ejecutiva, en particular con la planificación, y reducir la carga cognitiva extrínseca.	[6], [17], [40], [42], [60], [61]
G6. Adoptar simplicidad visual evitando elementos decorativos y colores innecesarios.	Esto puede apoyar los déficits de atención reduciendo las distracciones. Un diseño visual más simple permite a las personas con TEA centrarse en la tarea en cuestión, particularmente beneficioso para aquellos con desafíos en la inhibición. También considera las fuertes habilidades de procesamiento visual a menudo características de individuos con TEA.	[11], [12], [18], [21], [24], [47], [48]
G7. Evitar contenido auditivo.	Esto puede ayudar con la hiper- o hiporeactividad a estímulos sensoriales. Minimizar las distracciones auditivas puede reducir la sobrecarga sensorial en la tarea.	[12], [14], [73], [74]
G8. Incorporar refuerzo positivo en forma de imágenes (pictogramas) para fomentar la motivación del estudiante.	Esto puede ser efectivo para la motivación al proporcionar señales claras y visuales que refuerzan comportamientos deseables, ayudando a los estudiantes a involucrarse y enfocarse.	[6]
G9. Proporcionar la oportunidad de participar en nuevas actividades con datos diferentes mediante botones.	Ofrecer nuevos problemas o ejemplos ayuda a los estudiantes a practicar la flexibilidad y adaptarse a diferentes situaciones, mientras que usar botones proporciona una forma clara y predecible de introducir cambios.	[6], [17], [50], [51]
G10. Mantener un formato similar en todos los applets.	Una relación de aspecto y dimensión específicas aseguran una interfaz visualmente atractiva y armoniosa que es adecuada para tamaños de pantalla de dispositivos comunes.	[50], [62]

evaluación fue adaptado a partir de [67]. Además de estas evaluaciones cuantitativas, el instrumento incluía una sección de respuesta abierta para que los expertos sugirieran mejoras de cada guía. Una pregunta general final invitaba a aportar retroalimentación sobre aspectos generales de las guías, como posibles omisiones. Todas las respuestas fueron recopiladas en el plazo de una semana tras la solicitud inicial.

Una vez colectadas las respuestas de los expertos, uno de los autores realizó un análisis individual de cada una para examinar el grado de concordancia entre los expertos e identificar patrones significativos o discrepancias que requerían atención. Basándose en este análisis y las sugerencias adicionales de los expertos, las guías fueron posteriormente revisadas y ajustadas. Se realizaron modificaciones a las formulaciones originales para asegurar que reflejaran con precisión las sugerencias de los expertos (ver Fase 2.2, Fig. 1).

III-C. Validación de las guías por expertos en creación de applets matemáticos

La selección de expertos para la segunda ronda de validación siguió la misma estrategia empleada en la Fase 2. Se requirió que los candidatos tuvieran experiencia demostrada en el diseño de applets matemáticos y un registro activo de innovación educativa con GeoGebra.

Este proceso resultó en un panel de cinco especialistas en diseño de applets de GeoGebra, compuesto por: i) Dos profesores de matemáticas de educación secundaria con extensa experiencia en GeoGebra, cada uno habiendo creado más de 1.000 applets públicamente disponibles, autoría de múltiples

publicaciones sobre GeoGebra para docentes, impartición de talleres de formación de profesores y recibido reconocimiento nacional por innovación educativa; ii) dos docentes de matemáticas de educación secundaria con competencias avanzadas en GeoGebra, habiendo creado 25 y 200 applets públicamente disponibles, respectivamente, impartido talleres de formación al profesorado y organizado conferencias regionales sobre tecnología en educación matemática; iii) un docente universitario en educación matemática con 35 años de experiencia en investigación en geometría asistida por ordenador y más de 30 publicaciones revisadas por pares sobre enseñanza de matemáticas asistida por TIC.

Los cuatro docentes de secundaria eran miembros activos del grupo de trabajo del proyecto MatesGG [62]. Todos los expertos estaban afiliados a instituciones españolas (centros de educación secundaria y universidades) ubicadas en diferentes regiones del país. Esta composición equilibró innovadores de GeoGebra con gran experiencia, docentes destacados y un investigador consolidado en educación matemática asistida por tecnología, asegurando una evaluación exhaustiva tanto de la viabilidad técnica como de la efectividad pedagógica de las guías.

El proceso de evaluación replicó el enfoque utilizado para la ronda de validación anterior. Se envió un correo electrónico explicando el propósito de la investigación y adjuntando el borrador de las guías junto con el instrumento de evaluación. Este documento instaba a los expertos a evaluar la claridad, relevancia/interés y pertinencia de cada guía, así como a aportar sugerencias de mejora. Al igual que en la ronda de validación anterior, la evaluación utilizó una escala Likert de

1 a 5 para medir las percepciones respecto de cada guía, y cada ítem incluía una pregunta de respuesta abierta donde los expertos podían proporcionar sugerencias cualitativas de mejora. Adicionalmente, se incluyó una solicitud específica de propuestas de nuevos ítems y adiciones de comandos útiles para aprovechar la competencia técnica de los expertos con GeoGebra. Todas las respuestas fueron recopiladas en un plazo de dos semanas tras la solicitud inicial.

III-D. Análisis del grado de concordancia entre expertos

Una vez recogidas las respuestas de los expertos en ambas fases de validación, se realizó un análisis sobre las respuestas para medir el grado de concordancia entre los evaluadores. Para ello se calculó el índice de Kappa Multirater de Marginal Libre (FMK, por sus siglas en inglés) en las Fases 2.1 y 3.1 (véase Fig. 1). El FMK fue seleccionado como la medida principal de concordancia porque admite distribuciones marginales variables entre evaluadores [76]. A diferencia del kappa de marginal fijo de Fleiss [77], que asume que los evaluadores distribuyen sus valoraciones uniformemente entre todos los ítems, el FMK permite que los expertos varíen legítimamente en sus patrones de evaluación, lo cual es una suposición adecuada cuando algunas guías pueden merecer un análisis más crítico que otras [78]. Esta flexibilidad es particularmente importante en estudios de validación donde los ítems varían en calidad o aplicabilidad. Tal y como señalan Jakobsson y Westergren [79], las medidas de concordancia corregidas por azar como FMK proporcionan una evaluación más rigurosa que el simple porcentaje de acuerdo al distinguir entre consenso genuino y coincidencia fortuita. El FMK ha sido empleado con éxito en estudios similares de validación en contextos educativos y en campos médicos, alcanzando valores que oscilan entre 0,52 y 1,00 en diferentes dimensiones de evaluación [80]–[82].

El FMK fue calculado por separado para cada dimensión de evaluación (claridad, relevancia/interés y pertinencia) agregando las respuestas a través de todas las guías. Para interpretar los valores de FMK, se utilizó el marco de categorización establecido por Landis y Koch [83], que clasifica la fuerza de concordancia basándose en el estadístico Kappa como: Pobre (<0); Leve (0 a 0,20); Aceptable (0,21 a 0,40); Moderado (0,41 a 0,60); Sustancial (0,61 a 0,80); Casi perfecto (0,81 a 1). Este marco de interpretación es ampliamente adoptado en investigaciones sobre validación de instrumentos y proporciona puntos de referencia consolidados para evaluar la fiabilidad entre evaluadores [80], [81].

IV. RESULTADOS

En esta sección, presentamos las evaluaciones y la retroalimentación recibidas por los expertos en TEA y educación matemática (Fase 2.2, Fig. 1), así como por los expertos en creación de applets de GeoGebra (Fase 3.2, Fig. 1). La sección concluye con la versión final de las guías validadas junto con un ejemplo práctico que muestra su uso.

IV-A. Validación por expertos en TEA y educación matemática

La Tabla II resume los resultados de la validación realizada por los expertos en TEA y educación matemática. La tabla incluye las puntuaciones medias del tipo Likert asignadas a cada guía para claridad, relevancia/interés y pertinencia, así como un resumen de las sugerencias de los expertos y los cambios correspondientes introducidos en las guías.

Las puntuaciones Likert, que reflejan las valoraciones de las guías originales, mostraron retroalimentación general positiva a lo largo de las tres dimensiones. La mayoría de los ítems obtuvo una puntuación media superior a 4 para *claridad*, con un acuerdo general entre los expertos. No obstante, se observó cierta variabilidad en ítems específicos donde se aportaron sugerencias de mejora. Con respecto a *relevancia/interés*, la mayoría de los ítems fueron valorados como “alto” o “muy alto”, con solo dos ítems recibiendo una valoración de “intermedio”. De forma similar, para *pertinencia*, la mayoría de los ítems fueron valorados como “alto” o “muy alto”, con solo un ítem recibiendo una calificación de “bajo”, acompañada de una sugerencia constructiva de refinamiento.

El índice FMK fue calculado a través de todos los ítems para cada dimensión para evaluar el grado de concordancia entre los expertos. Para *claridad*, el valor FMK de 0,36 indicó concordancia “aceptable”, reflejando ligeras variaciones en las evaluaciones de ciertos ítems. En contraste, *relevancia/interés* alcanzó un valor FMK de 0,68, denotando concordancia “sustancial” entre los expertos, con diferencias mínimas en las respuestas. De manera similar, *pertinencia* alcanzó un valor FMK de 0,71, también indicando concordancia “sustancial”, a pesar de unas pocas evaluaciones atípicas, incluyendo una calificación de “bajo” asociada con una sugerencia específica de mejora. Estos valores son consistentes con estudios de validación similares que reportan rangos de FMK de 0,52–1,00 [80]–[82]. La menor concordancia para *claridad* (0,36) comparada con dimensiones enfocadas en contenido refleja la naturaleza inherentemente subjetiva de la evaluación lingüística. Este patrón es consistente con la investigación de validación que muestra que los juicios estilísticos típicamente exhiben mayor variabilidad que las evaluaciones de relevancia de contenido [81].

Además, los expertos proporcionaron sugerencias cualitativas de mejora, recopiladas mediante las preguntas de respuesta abierta del instrumento. Estas incluyeron recomendaciones para mejorar la claridad de ítems específicos, refinar el lenguaje para una mejor alineación con las características del TEA y abordar posibles omisiones. A partir de esta aportación, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de las guías, que condujo a modificaciones en aspectos como la inclusión de pictogramas y retroalimentación de tareas. Además, una guía (originalmente G10) fue eliminada por abordar un aspecto excesivamente técnico que se gestiona más efectivamente mediante plantillas de applet estandarizadas. En base a las sugerencias de los expertos, se añadió una nueva guía. Esta fue ubicada antes de la G8 original, causando que G8 y las guías subsiguientes fueran reenumeradas. El decálogo actualizado de guías, no reproducido explícitamente aquí, fue empleado

Tabla II
RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS EN TEA Y EDUCACIÓN MATEMÁTICA.

G	C	R	P	Sugerencias de los expertos	Cambios introducidos
G1	4,4	5	5	Usar instrucciones claras y directas con estructuras de oraciones básicas para mejorar la comprensión. Cambiar el enfoque de “déficits de atención” a abordar las sensibilidades sensoriales y mejorar la participación, puesto que los déficits de atención no forman parte del criterio diagnóstico estándar del TEA.	Se actualizó la guía para enfatizar el uso de estructuras de oraciones directas para mayor claridad. También se revisó la justificación para abordar mejor las sensibilidades sensoriales y los desafíos de participación asociados con el TEA, en lugar de déficits de atención genéricos.
G2	4	4,4	3,8	Incluir una opción que permita a los educadores seleccionar entre letras mayúsculas y minúsculas. Usar una fuente simple y clara para facilitar la lectura.	La justificación fue ampliada para proporcionar una explicación más exhaustiva. Para mantener la simplicidad y evitar saturar la interfaz del applet, la opción de cambiar a una fuente en minúsculas no fue incluida.
G3	4,2	4,8	5	Hacer los pictogramas opcionales, puesto que pueden distraer a estudiantes que no los requieren. Incluir explicaciones adicionales sobre su uso apropiado.	Se enfatizó la optionalidad de los pictogramas, y se añadió una explicación más detallada sobre dónde y cómo usar los pictogramas para aclarar las instrucciones.
G4	4,6	5	5	Aclarar que los pictogramas son representaciones fijas para acciones específicas y deben corresponder a botones en la interfaz. Incluir detalles específicos sobre su formato y estilo para asegurar consistencia.	Se añadieron detalles para especificar el estilo, formato y funcionamiento de los pictogramas asociados con botones para mejorar la claridad y usabilidad.
G5	3,8	5	5	Simplificar la justificación eliminando frases redundantes para mejorar la claridad. Opcionalmente especificar el número total de pasos implicados en la tarea para ayudar a la comprensión.	La guía fue actualizada para recomendar la inclusión opcional del número total de pasos de la tarea. La justificación fue revisada para eliminar frases redundantes, asegurando una explicación concisa de cómo las tareas estructuradas asisten ante déficits de función ejecutiva.
G6	3,6	5	5	Incluir sugerencias para asegurar simplicidad visual evitando distracciones, enfatizando el contraste y limitando el contenido a información esencial. Ajustar la redacción para alinear mejor con el enfoque atencional.	Se añadieron instrucciones explícitas a la guía para evitar complejidad visual innecesaria y asegurar un diseño de alto contraste. La terminología ambigua fue reemplazada por una redacción más clara que se centra en mantener la participación en la tarea minimizando cambios de atención.
G7	4,8	4,8	4,8	Proporcionar la opción de habilitar o deshabilitar el contenido auditivo, ya que algunos individuos con TEA pueden beneficiarse del audio para mejorar la comprensión, mientras que otros pueden encontrarlo distractivo.	Se añadió la optionalidad del contenido auditivo a la guía.
G9	4,8	4,4	4,4	Evitar posibles distracciones, asegurar que los botones que introducen nuevas actividades no sean excesivamente prominentes.	Se añadió una nota para asegurar instrucciones claras sobre el uso de botones y evitar el uso excesivo. Esta guía fue luego designada como G10.
G10	5	4,8	4,8	Mantener un formato similar en todos los applets.	Dado que la G10 original abordaba un aspecto técnico en lugar de una guía recomendada, fue eliminada y reservada para consideración en el desarrollo futuro de una plantilla para applets. En su lugar, se introdujo una nueva guía, G8, enfocándose en la corrección y retroalimentación.

Nota: G = Guía, C = Claridad, R = Relevancia/interés, P = Pertinencia.

después para la segunda ronda de validación por expertos (Fase 3, Fig. 1), detallada en la Sección IV-B.

IV-B. Validación por expertos en creación de applets matemáticos

Los resultados de la validación realizada por expertos en creación de applets matemáticos se resumen en la Tabla III. Esta tabla presenta las puntuaciones Likert medias para *claridad*, *relevancia/interés* y *pertinencia*, así como un resumen de las sugerencias de los expertos y los cambios correspondientes introducidos en las guías.

Las puntuaciones Likert para esta fase fueron consistentemente altas, con todas las guías recibiendo una puntuación promedio de al menos 4,4 en todas las dimensiones. La mayoría de las guías fueron calificadas como altamente claras, relevantes y pertinentes para la creación de applets matemáticos adaptados para estudiantes con TEA. Una excepción notable surgió en la guía relacionada con la inclusión de sonido, donde un experto proporcionó una calificación más baja. Sin embargo, esta puntuación reflejaba una consideración más específica relacionada con la integración de sonido dentro

de applets embebidos, lo cual no afectó al conjunto general de guías.

Las sugerencias de los expertos en esta ronda se centraron principalmente en guías que abordan aspectos técnicos de la creación de applets, con menos comentarios sobre ítems no técnicos. La guía G6, que se refiere a la simplicidad visual, no recibió ninguna sugerencia de mejora, indicando que estaba bien alineada con las expectativas de los expertos.

El valor de FMK más bajo se observó para *claridad*, en 0,54, indicando concordancia “moderada”. Esto puede atribuirse a una ligera variación en las respuestas, con dos calificaciones intermedias y cierta variabilidad entre puntuaciones altas y muy altas. En contraste, la evaluación de *relevancia/interés* y *pertinencia* alcanzó concordancia “casi perfecta”, con valores de FMK de 0,81 y 0,91, respectivamente, demostrando un fuerte consenso en estas dimensiones. La mejora en los valores de FMK entre rondas (claridad: de 0,36 a 0,54; relevancia/interés: de 0,68 a 0,81; pertinencia: de 0,71 a 0,91) demuestra un refinamiento iterativo efectivo, con *pertinencia* avanzando de concordancia “sustancial” a “casi perfecta”. Este patrón de fortalecimiento del consenso a través de la revisión se alinea con precedentes de estudios de validación similares [80], [82],

Tabla III
RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS EN CREACIÓN DE APPLETS MATEMÁTICOS.

G	C	R	P	Sugerencias de los expertos	Cambios introducidos
G1	4,6	5	5	Especificar el uso de formas imperativas en las instrucciones para asegurar consistencia. Mantener uniformidad y mejorar la legibilidad centrando el texto consistentemente. Incluir ejemplos ilustrativos para aclarar el contenido instruccional.	La guía fue actualizada para especificar estructuras de oraciones imperativas y estandarizar la alineación del texto. Se añadió un ejemplo ilustrativo para mayor claridad al final del documento de guías.
G2	4,8	4,6	5	Usar una fuente sans-serif grande (18 pt o configuración “Grande” en GeoGebra). Usar formato LaTeX para resaltar palabras clave en negrita, asegurando que la información esencial destaque.	Se incluyó el uso de la fuente sans-serif, junto con requisitos de tamaño de fuente.
G3	4,8	5	5	Consulta sobre si la secuencia de pictogramas debe estar siempre enmarcada en un rectángulo, indicando que la flexibilidad en el formato visual podría ser beneficiosa.	Se actualizó la guía para establecer que el uso de un marco rectangular para pictogramas es opcional.
G4	4,6	5	5	Incluir ejemplos visuales de botones con sus pictogramas asociados.	Se incluyeron imágenes de ejemplo de botones con pictogramas fijos.
G5	4,8	5	5	Incluir un indicador para mostrar el paso actual en la tarea.	Se añadió una recomendación para incluir un indicador de paso para ayudar a los usuarios a seguir su progreso.
G6	5	5	5	No se recibieron sugerencias.	No se introdujeron cambios.
G7	4,4	4	4	Eliminar el contenido auditivo por completo, puesto que su implementación es poco común y puede conducir a problemas de compatibilidad entre plataformas.	La guía fue revisada para recomendar explícitamente no incluir audio en los applets, puesto que esta característica se usa raramente en plataformas como GeoGebra y puede crear complejidades innecesarias.
G8	4,8	5	5	Distinguir entre actividades evaluativas y exploratorias. Las soluciones deben mostrarse siempre para tareas evaluativas. Especificar los tipos de pictogramas para indicar respuestas correctas o incorrectas.	La guía fue revisada para distinguir entre tareas evaluativas y exploratorias, especificando que las soluciones deben mostrarse para las primeras. Se añadió una recomendación para incluir pictogramas estandarizados para retroalimentación.
G9	5	5	5	Usar un formato uniforme para el refuerzo positivo (por ejemplo, imágenes o redacción consistentes) para mantener la coherencia y apoyar el aprendizaje estructurado para estudiantes con TEA.	La redacción fue refinada para exigir estilos uniformes de refuerzo, usando imágenes o textos idénticos para crear un entorno de aprendizaje cohesivo y predecible. Se incluyeron pictogramas de ejemplo con texto en un formato estandarizado para proporcionar orientación clara para la implementación.
G10	4,8	4,8	5	Especificar la ubicación del botón para iniciar una nueva actividad.	Se especificó la ubicación fija del botón “Nueva actividad” como la esquina superior derecha para consistencia y facilidad de uso.

Nota: G = Guía, C = Claridad, R = Relevancia/interés, P = Pertinencia.

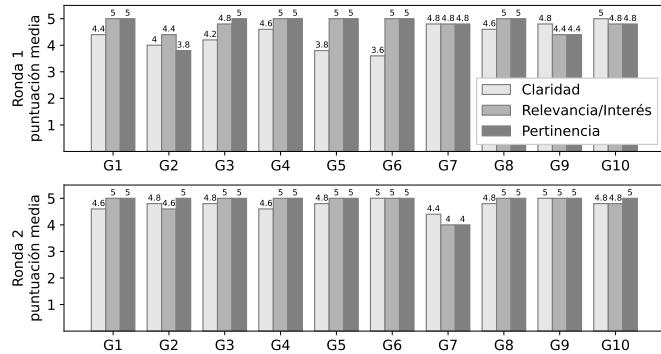


Figura 2. Puntuaciones medias de validación por expertos para las diez guías (G1-G10) en las dimensiones de claridad, relevancia/interés y pertinencia, en una escala Likert de 5 puntos.

lo que respalda la solidez de la metodología de validación multifásica. Las puntuaciones de validación obtenidas en ambas rondas de validación por expertos se resumen en la Fig. 2.

IV-C. Guías finales

El decálogo final de guías se presenta en la Tabla IV, incorporando todos los cambios de las dos rondas de validación por expertos para asegurar claridad, relevancia y pertinencia. Para demostrar su aplicación, la Fig. 3 presenta un ejemplo anotado de un applet de GeoGebra que sigue las guías validadas. Las capturas de pantalla destacan características específicas del

applet, ilustrando cómo cada guía fue implementada efectivamente.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio, presentamos un decálogo validado de guías para la creación de applets matemáticos adaptados a las necesidades de estudiantes con TEA. Estas guías responden a la demanda de materiales de aprendizaje digital que sean inclusivos y adaptados a los desafíos específicos que enfrentan estos estudiantes. Cada guía está respaldada por evidencia procedente de investigación cognitiva, características del trastorno que afectan el aprendizaje matemático y consideraciones sobre el diseño de interfaz. Las guías se fundamentan en principios establecidos de HCI (particularmente en la gestión de carga cognitiva, la claridad del diseño visual y los patrones de interacción consistentes), adaptados al perfil cognitivo específico y las necesidades de aprendizaje de estudiantes con TEA.

Aunque fueron validadas dentro de GeoGebra, las guías son en esencia independientes de la plataforma, puesto que se basan en las características cognitivas de estudiantes con TEA más que en características específicas del software. Los principios de diseño aplicados son de uso amplio en applets basados en web, aplicaciones móviles y otras herramientas matemáticas digitales. Si bien los detalles de implementación pueden variar, la justificación cognitiva subyacente permanece constante. Estudios futuros que examinen la implementación en otras plataformas ayudarán a identificar posibles consi-

Tabla IV
LA VERSIÓN FINAL VALIDADA DEL DECÁLOGO DE GUÍAS.

Guía	Justificación
G1. Instrucciones breves y claras, siempre centradas en la parte superior.	Usar instrucciones directas y sencillas mejora la comprensión lectora y reduce la carga cognitiva, apoyando a personas que pueden enfrentarse a desafíos con el procesamiento sensorial y estructuras lingüísticas complejas.
G2. Usar letras mayúsculas en una fuente sans-serif grande y resaltar palabras clave, como verbos o conceptos, en negrita.	El uso de letras mayúsculas para las instrucciones puede ayudar a los estudiantes con TEA a identificar rápidamente directivas clave. Se recomienda una fuente grande (tamaño 18 pt), redondeada y sans-serif para mejorar la legibilidad. Resaltar palabras clave en negrita, como verbos o conceptos que indican el objetivo de la tarea, apoya aún más la comprensión y centra la atención.
G3. Proporcionar instrucciones con una secuencia opcional de pictogramas, que puede estar enmarcada por un rectángulo, e incluir un botón para alternar su visibilidad.	El uso de pictogramas ayuda a los estudiantes con TEA mediante el uso de estrategias visuoespaciales y el apoyo a la comprensión lectora. Esta característica es opcional y se recomienda particularmente para Educación Infantil y Primaria.
G4. Reemplazar los botones de interfaz estándar del applet con pictogramas fijos que correspondan a acciones específicas, asegurando que tengan un estilo y posición consistentes en todos los applets.	Los pictogramas fijos para botones de interfaz proporcionan señales visuales consistentes, creando un entorno predecible y de apoyo para el usuario. Estos pictogramas siempre representarán la misma acción, estarán situados de forma consistente en todos los applets y, cuando estén asociados con acciones específicas de la interfaz, estarán enmarcados y funcionarán como botones clicables para ejecutar la acción indicada. (Se muestran imágenes de ejemplo en la Fig. 4.)
G5. Proporcionar una tarea estructurada, distinguiendo claramente cada paso, y opcionalmente especificando el paso actual y el número total de pasos. Usar un botón “Siguiente paso” para avanzar.	Las tareas estructuradas asisten ante déficits de función ejecutiva mejorando la planificación y la organización. Especificar el número total de pasos puede mejorar la comprensión, mientras que un indicador de paso o un botón “Siguiente paso” ayuda al usuario a seguir y progresar a través de las tareas. Se deben evitar deslizadores para este fin, puesto que pueden complicar la navegación de la tarea.
G6. Adoptar simplicidad visual evitando elementos decorativos, asegurando colores de alto contraste y limitando el contenido a la información esencial.	Simplificar los elementos visuales reduce las distracciones y apoya a personas con TEA al facilitar la concentración. Los colores de alto contraste mejoran la visibilidad, mientras que un contenido mínimo aprovecha sus habilidades de procesamiento visual.
G7. Evitar contenido auditivo.	Muchas personas con TEA presentan hiper- o hiporeactividad a estímulos sensoriales. Al evitar el contenido auditivo, la tarea se vuelve más accesible, permitiendo al usuario centrarse mejor. Además, el audio rara vez se implementa en plataformas como GeoGebra, y su exclusión reduce posibles problemas de compatibilidad al embeber applets.
G8. Proporcionar retroalimentación inmediata sobre la corrección usando pictogramas estandarizados. Incluir soluciones correctas para tareas evaluativas y ofrecer retroalimentación flexible para las exploratorias.	La retroalimentación clara e inmediata ayuda a los estudiantes a comprender su desempeño y realizar los ajustes necesarios. Diferenciar entre tareas evaluativas y exploratorias asegura que la retroalimentación apoye los objetivos de aprendizaje de cada actividad. Los indicadores visuales estandarizados, como pictogramas, mejoran la accesibilidad y consistencia. (Se muestran imágenes de ejemplo en la Fig. 5.)
G9. Incorporar refuerzo positivo usando imágenes estandarizadas con texto acompañante para fomentar la motivación.	El uso consistente de refuerzo positivo, como pictogramas estandarizados con texto, fomenta la motivación al proporcionar señales visuales claras que refuerzan comportamientos deseables. Este enfoque ayuda a los estudiantes con TEA a implicarse y centrarse a la vez que ofrece una experiencia de aprendizaje estructurada y reduce la tensión cognitiva.
G10. Incluir un botón en la esquina superior derecha para introducir nuevas actividades.	Ofrecer nuevos problemas o ejemplos ayuda a los estudiantes con TEA a practicar la flexibilidad y adaptarse a diferentes situaciones, mientras que el uso de botones proporciona una forma clara y predecible de introducir cambios.

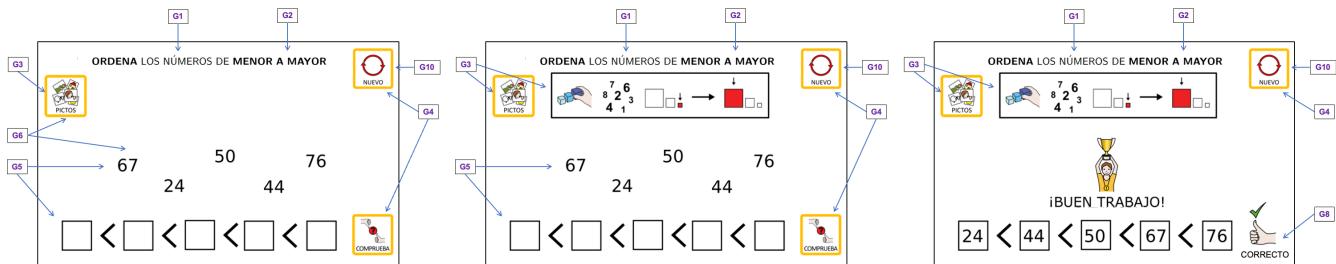


Figura 3. Ejemplos anotados de un applet de GeoGebra siguiendo las guías validadas, con anotaciones que indican cómo se aplicó cada guía específica. Izquierda: pantalla inicial. Centro: pantalla que aparece tras hacer clic en “PICTOS”. Derecha: pantalla final tras colocar correctamente los números y pulsar “COMPRUEBA”. Más ejemplos de applets adaptados pueden consultarse en <https://matematicasyautismo.unican.es/english.html>. Pictogramas creados por el Centro Aragonés para la Comunicación Aumentativa y Alternativa (ARASAAC), <https://arasaac.org/>. Usados con permiso.



Figura 4. Ejemplos de botones asociados a acciones de la interfaz.



Figura 5. Ejemplos de imágenes de retroalimentación positiva con texto acompañante.

deraciones específicas de plataforma que complementen estas guías fundacionales.

A diferencia de trabajos previos en los que las recomendaciones se basan principalmente en síntesis de literatura o estudios piloto [11], [12], [57], nuestro enfoque garantiza tanto validez teórica como viabilidad práctica mediante un proceso de validación riguroso en tres fases que involucró paneles de expertos distintos y un análisis sistemático de concordancia. Además, fundamentamos explícitamente cada guía en el perfil cognitivo de los estudiantes con TEA (desafíos de función ejecutiva, sensibilidades sensoriales, fortalezas en el procesamiento visual, limitaciones de memoria de trabajo) y su impacto documentado en el aprendizaje matemático [6], [17], [28]–[32]. Este anclaje teórico distingue este trabajo de los principios generales de diseño de interfaz al proporcionar a educadores y desarrolladores justificaciones claras fundamentadas en las características cognitivas del trastorno. Por ejemplo, si bien la reducción de la carga es un principio universal de HCI [42]–[44], las guías propuestas especifican *cómo* y *por qué* esto importa para estudiantes con TEA en contextos matemáticos: conectando la simplicidad visual (G6) con déficits de atención [21] y desafíos de inhibición [18], las tareas estructuradas (G5) con déficits de función ejecutiva [17], y uso de pictogramas (G3, G4) con fortalezas de procesamiento visual [24] y dificultades de comprensión del lenguaje [31]. Las guías resultantes enfatizan interfaces estructuradas, retroalimentación clara, apoyos visuales y diseño instruccional paso a paso como componentes esenciales de applets educativos, consistentes con principios establecidos [60], [61] mientras proporcionan justificación específica para TEA de cada recomendación.

Las guías están destinadas a docentes y creadores de contenido que trabajan en Educación Infantil, Primaria y Secundaria, con aplicabilidad que se extiende más allá de cualquier plataforma única. Una ventaja notable de estas guías es su desarrollo con GeoGebra, un software gratuito y de código abierto, lo cual mejora la accesibilidad y facilita la aplicación inmediata por educadores y creadores de contenido. Las recomendaciones propuestas son independientes de la plataforma, aunque validadas dentro de GeoGebra, un sistema ampliamente usado. Esto las hace fácilmente aplicables en el aula y adaptables a otros entornos digitales de aprendizaje.

Una limitación de este estudio radica en la ausencia de una validación directa que involucre a estudiantes con TEA. Por diseño, el presente trabajo se centra en establecer validez de contenido y viabilidad práctica mediante revisión por expertos antes del uso en el aula. La evaluación empírica con estudiantes representa una fase siguiente crucial. Realizar dicha validación requiere un cronograma de investigación separado y más largo, particularmente debido a desafíos relacionados con el reclutamiento de participantes con TEA y el establecimiento de colaboraciones escolares y procedimientos éticamente fundamentados para reclutar participantes con TEA y coordinar con docentes, familias y centros de apoyo o clínicos. Por lo tanto, la investigación futura se centrará en implementar y evaluar estas guías en contextos reales de aula (tanto inclusivos como especializados) para examinar su impacto en (i) usabilidad y accesibilidad (por ejemplo, finalización de tareas, patrones de error, tiempo dedicado, indicaciones necesarias), (ii) implicación del estudiante y carga sensorial, y (iii) indicadores de aprendizaje alineados con competencias matemáticas objetivo. Este enfoque por fases pretende generar evidencia robusta y generalizable para refinar y fortalecer las guías.

Finalmente, aunque las guías en este estudio están desarrolladas para estudiantes con TEA, varios principios, como la claridad visual, la reducción de carga cognitiva extrínseca, los patrones de interacción predecibles y el andamiaje consistente, son plausiblemente relevantes para otros grupos de estudiantes con NEE. Investigar la transferibilidad a perfiles adicionales e identificar cualquier adaptación específica del perfil es una dirección prometedora para investigación futura.

REFERENCIAS

- [1] W. Daher, “Preservice teachers’ perceptions of applets for solving mathematical problems: Need, difficulties and functions,” *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 12, no. 4, pp. 383–395, 2009.
- [2] G. D. Heath, “Using applets in teaching mathematics,” *Mathematics and Computer Education*, vol. 36, no. 1, pp. 43–52, 2002.
- [3] S. Radović, M. Radojičić, K. Veljković, and M. Marić, “Examining the effects of Geogebra applets on mathematics learning using interactive mathematics textbook,” *Interactive Learning Environments*, vol. 28, no. 1, pp. 32–49, 2020.
- [4] L. Echeverría, R. Cobos, and M. Morales, “Improving the students computational thinking skills with collaborative learning techniques,” *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 14, no. 4, pp. 196–206, 2019.
- [5] C. d. P. Gallardo-Montes, M. J. Caurel Cara, and A. Rodríguez Fuentes, “Technologies in the education of children and teenagers with autism: evaluation and classification of apps by work areas,” *Education and Information Technologies*, vol. 27, no. 3, pp. 4087–4115, 2022.
- [6] S. Ozonoff and P. L. Schetter, “Executive dysfunction in autism spectrum disorders,” in *Executive function in education: From theory to practice*, L. Meltzer, Ed. New York: Guilford Press, 2007, pp. 133–160.
- [7] S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg, and M. Lombardo, *Understanding other minds: Perspectives from developmental social neuroscience*, 2nd ed. Oxford University Press, 2000.
- [8] C. A. McDonald, J. P. Donnelly, A. L. Feldman-Alguire, J. D. Rodgers, C. Lopata, and M. L. Thomeer, “Special education service use by children with autism spectrum disorder,” *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 49, no. 6, pp. 2437–2446, 2019.
- [9] M. García-Moya and R. Blanco, “Applications with mathematical content for users with autism,” *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 19, pp. 111–119, 2024.
- [10] C. Mallory and B. Keehn, “Implications of sensory processing and attentional differences associated with autism in academic settings: An integrative review,” *Frontiers in Psychiatry*, vol. 12, p. 695825, 2021.

- [11] M. I. Santos, A. Breda, and A. M. Almeida, "Design approach of mathematics learning activities in a digital environment for children with autism spectrum disorders," *Educational Technology Research and Development*, vol. 65, pp. 1305–1323, 2017.
- [12] B. Groba, L. Nieto-Riveiro, N. Canosa, P. Concheiro-Moscoso, M. d. C. Miranda-Duro, and J. Pereira, "Stakeholder perspectives to support graphical user interface design for children with autism spectrum disorder: A qualitative study," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 9, p. 4631, 2021.
- [13] C. S. González-González, J. Muñoz-Arteaga, and C. A. Collazos, "Educational inclusion through ICT," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 4, pp. 352–354, 2022.
- [14] American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)*. American Psychiatric Association Publishing, 2013, vol. 5.
- [15] M.-C. Lai, M. V. Lombardo, and S. Baron-Cohen, "Autism," *The Lancet*, vol. 383, no. 9920, pp. 896–910, 2014.
- [16] M. Maenner, K. Shaw, J. Baio, A. Washington, M. Patrick, M. DiRienzo, D. Christensen, L. Wiggins, S. Pettygrove, J. Andrews, M. Lopez, A. Hudson, T. Baroud, Y. Schwenk, T. White, C. Rosenberg, L. Lee, R. Harrington, M. Huston, A. Hewitt, A. Esler, J. Hall-Lande, J. Poynter, L. Hallas-Muchow, J. Constantino, R. Fitzgerald, W. Zahorodny, J. Sheneouda, J. Daniels, Z. Warren, A. Vehorn, A. Salinas, M. Durkin, and P. Dietz, "Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2016," *MMWR Surveillance Summaries*, vol. 69, no. 4, pp. 1–12, 2020.
- [17] E. L. Hill, "Evaluating the theory of executive dysfunction in autism," *Developmental review*, vol. 24, no. 2, pp. 189–233, 2004.
- [18] C. Sanderson and M. L. Allen, "The specificity of inhibitory impairments in autism and their relation to ADHD-type symptoms," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 43, no. 5, pp. 1065–1079, 2013.
- [19] Y. Yasuda, R. Hashimoto, K. Ohi, H. Yamamori, M. Fujimoto, S. Umeda-Yano, H. Fujino, and M. Takeda, "Cognitive inflexibility in Japanese adolescents and adults with autism spectrum disorders," *World journal of psychiatry*, vol. 4, no. 2, p. 42, 2014.
- [20] L. Bennetto, B. F. Pennington, and S. J. Rogers, "Intact and impaired memory functions in autism," *Child development*, vol. 67, no. 4, pp. 1816–1835, 1996.
- [21] B. Keehn, R.-A. Müller, and J. Townsend, "Atypical attentional networks and the emergence of autism," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 37, no. 2, pp. 164–183, 2013.
- [22] J. Åsberg Johnels, E. Carlsson, C. Norbury, C. Gillberg, and C. Miniscalco, "Current profiles and early predictors of reading skills in school-age children with autism spectrum disorders: A longitudinal, retrospective population study," *Autism*, vol. 23, no. 6, pp. 1449–1459, 2019.
- [23] C. R. Jones, F. Happé, H. Golden, A. J. Marsden, J. Tregay, E. Simonoff, A. Pickles, G. Baird, and T. Charman, "Reading and arithmetic in adolescents with autism spectrum disorders: peaks and dips in attainment," *Neuropsychology*, vol. 23, no. 6, pp. 718–728, 2009.
- [24] T. Grandin, *Thinking in Pictures*. New York, NY, USA: Vintage Press Edition, 1996.
- [25] F. Happé and U. Frith, "The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 36, pp. 5–25, 2006.
- [26] G. B. Mesibov and V. Shea, "The TEACCH program in the era of evidence-based practice," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 40, pp. 570–579, 2010.
- [27] T. M. Oswald, J. S. Beck, A.-M. Iosif, J. B. McCauley, L. J. Gilhooly, J. C. Matter, and M. Solomon, "Clinical and cognitive characteristics associated with mathematics problem solving in adolescents with autism spectrum disorder," *Autism Research*, vol. 9, no. 4, pp. 480–490, 2016.
- [28] J. C. Bullen, M. C. Zajic, N. McIntyre, E. Solaro, and P. Mundy, "Patterns of math and reading achievement in children and adolescents with autism spectrum disorder," *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 92, p. 101933, 2022.
- [29] R. Fernández-Cobos, I. Polo-Blanco, E. Castroviejo, M. Juncal-Ruiz, and A. Vicente, "What predicts early math in autism? a study of cognitive and linguistic factors," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, in press.
- [30] L. Sambade, B. Fraga González, and B. López, "Aprendizaje lógico-matemático en tea y problemas de atención," *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación*, no. 11, pp. 184–187, 2017.
- [31] B. Alderson-Day, "Verbal problem-solving difficulties in autism spectrum disorders and atypical language development," *Autism Research*, vol. 7, no. 6, pp. 720–730, 2014.
- [32] I. Polo-Blanco, P. Suárez-Pinilla, J. Goñi-Cervera, M. Suárez-Pinilla, and B. Payá, "Comparison of mathematics problem-solving abilities in autistic and non-autistic children: the influence of cognitive profile," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 54, pp. 353–365, 2024.
- [33] A. Bruno, I. Polo-Blanco, S. Van Vaerenbergh, R. Fernandez-Cobos, and M. J. González López, "Strategies for solving multiplicative problems using a conceptual model-based problem-solving approach. a case study with a student with autism spectrum disorder," *ZDM – Mathematics Education*, vol. 56, no. 6, pp. 1239–1256, 2024.
- [34] R. Fernández-Cobos and I. Polo-Blanco, "Using modified schema-based instruction to teach problem-solving to students with autism and language impairments: A single case design study," *International Journal of Developmental Disabilities*, in press.
- [35] I. Polo Blanco, M. J. González López, and A. Bruno, "Influencia del contexto en problemas de multiplicación y división: estudio de caso de un alumno con autismo," *Siglo Cero*, vol. 52, no. 1, pp. 59–78, 2021.
- [36] J. R. Root, A. Saunders, S. K. Cox, D. Gilley, and A. Clausen, "Teaching word problem solving to students with autism and intellectual disability," *TEACHING Exceptional Children*, vol. 57, no. 1, pp. 44–55, 2024.
- [37] J. M. Carroll, "Human-computer interaction: Psychology as a science of design," *Annual Review of Psychology*, vol. 48, no. 4, pp. 61–83, 1997.
- [38] A. Dix, J. Finlay, G. D. Abowd, and R. Beale, *Human–Computer Interaction*, 3rd ed. Harlow, England: Pearson Education, 2004.
- [39] T. C. Reeves, "The impact of media and technology in schools," *Journal of The Journal of Art and Design Education*, vol. 2, pp. 58–63, 1998.
- [40] N. Hollender, C. Hofmann, M. Denke, and B. Schmitz, "Integrating cognitive load theory and concepts of human–computer interaction," *Computers in human behavior*, vol. 26, no. 6, pp. 1278–1288, 2010.
- [41] J. Nielsen, *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.
- [42] J. Sweller, "Cognitive load during problem solving: Effects on learning," *Cognitive science*, vol. 12, no. 2, pp. 257–285, 1988.
- [43] J. Sweller, J. J. Van Merriënboer, and F. G. Paas, "Cognitive architecture and instructional design," *Educational psychology review*, vol. 10, no. 3, pp. 251–296, 1998.
- [44] P. Chandler and J. Sweller, "Cognitive load theory and the format of instruction," *Cognition and instruction*, vol. 8, no. 4, pp. 293–332, 1991.
- [45] P. Ayres and J. Sweller, "The split-attention principle in multimedia learning," *The Cambridge handbook of multimedia learning*, vol. 2, pp. 135–146, 2005.
- [46] E. Gkintoni, H. Antonopoulou, A. Sortwell, and C. Halkiopoulos, "Challenging cognitive load theory: The role of educational neuroscience and artificial intelligence in redefining learning efficacy," *Brain Sciences*, vol. 15, no. 2, p. 203, 2025.
- [47] C. Ware, *Information visualization: perception for design*. Morgan Kaufmann, 2000.
- [48] D. Chang, L. Dooley, and J. E. Tuovinen, "Gestalt theory in visual screen design—a new look at an old subject," in *Selected Papers from the 7th World Conference on Computers in Education (WCCE'01), Copenhagen, Computers in Education 2001: Australian Topics, Volume 8*. Melbourne: Australian Computer Society, 2002, pp. 5–12.
- [49] E. R. Tufte, *Envisioning Information*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1990.
- [50] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things*, revised and expanded edition ed. New York: Basic Books, 2013.
- [51] B. Shneiderman, "Direct manipulation: A step beyond programming languages," *Computer*, vol. 16, no. 08, pp. 57–69, 1983.
- [52] C. Laborde, "Integration of technology in the design of geometry tasks with cabri-geometry," *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, vol. 6, no. 3, pp. 283–317, 2002.
- [53] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books, 1980, reprint 2020.
- [54] S. J. Hegedus and L. Moreno-Armella, "Intersecting representation and communication infrastructures," *ZDM*, vol. 41, no. 4, pp. 399–412, 2009.
- [55] L. Moreno-Armella, S. J. Hegedus, and J. J. Kaput, "From static to dynamic mathematics: Historical and representational perspectives," *Educational Studies in Mathematics*, vol. 68, no. 2, pp. 99–111, 2008.
- [56] S. Ainsworth, "Deft: A conceptual framework for considering learning with multiple representations," *Learning and instruction*, vol. 16, no. 3, pp. 183–198, 2006.
- [57] N. Pavlov, "User interface for people with autism spectrum disorders," *Journal of Software Engineering and Applications*, vol. 7, pp. 128–134, 2014.
- [58] G. Freyhoff, G. Hess, L. Kerr, B. Tronbacke, and K. Van Der Veken, *Make it Simple: European Guidelines for the Production of Easy-to-Read Information for People with Learning Disability for Authors*, Edi-

- tors, *Information Providers, Translators and Other Interested Persons*. ILSMH European Association, 1998.
- [59] B. R. Smith, F. Spooner, and C. L. Wood, "Using embedded computer-assisted explicit instruction to teach science to students with autism spectrum disorder," *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 7, no. 3, pp. 433–443, 2013.
- [60] N. Rasche, "Design strategy for the development of applications for autism instruction," Master's thesis, Purdue University, 2013.
- [61] Ü. P. Abidoğlu, O. Ertuğruloğlu, and N. Büyükegilmez, "Importance of computer-aided education for children with autism spectrum disorder (asd)," *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 13, no. 8, pp. 4957–4964, 2017.
- [62] S. Van Vaerenbergh, J. A. Reyes Delgado, and J. A. Armesto, "El proyecto MatesGG: Matemáticas con GeoGebra," *Suma*, no. 108, pp. 103–113, 2025.
- [63] Y.-M. Kim, "Validation of psychometric research instruments: The case of information science," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 60, no. 6, pp. 1178–1191, 2009.
- [64] D. Collingridge. (2014, September 23) Validating a questionnaire. Retrieved November 25, 2023. [Online]. Available: <https://researchmethodscommunity.sagepub.com/blog/validating-a-questionnaire>
- [65] A. R. C. S. Thomé, T. H. L. Bernardo, P. d. A. Sarmento, J. A. P. d. M. Coelho, and E. M. M. Fedocci, "Checklist validation for use in safe heart surgery," *Revista Gaúcha de Enfermagem*, vol. 43, p. e20220025, 2022.
- [66] R. Skjøng and B. H. Wentworth, "Expert judgment and risk perception," in *Proceedings of the Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference*. ISOPE, June 2001, pp. 537–544.
- [67] J. Escobar-Pérez and Á. Cuervo-Martínez, "Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización," *Avances en medición*, vol. 6, no. 1, pp. 27–36, 2008.
- [68] M. R. Lynn, "Determination and quantification of content validity," *Nursing research*, vol. 35, no. 6, pp. 382–386, 1986.
- [69] D. F. Polit and C. T. Beck, "The content validity index: are you sure you know what's being reported? critique and recommendations," *Research in nursing & health*, vol. 29, no. 5, pp. 489–497, 2006.
- [70] C. R. D. Nora, E. Zoboli, and M. M. Vieira, "Validation by experts: importance in translation and adaptation of instruments," *Revista Gaúcha de Enfermagem*, vol. 38, 2018.
- [71] N. Elangovan and E. Sundaravel, "Method of preparing a document for survey instrument validation by experts," *MethodsX*, vol. 8, p. 101326, 2021.
- [72] L. Schreibman and A. C. Stahmer, "A randomized trial comparison of the effects of verbal and pictorial naturalistic communication strategies on spoken language for young children with autism," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 44, pp. 1244–1251, 2014.
- [73] G. T. Baranek, F. J. David, M. D. Poe, W. L. Stone, and L. R. Watson, "Sensory experiences questionnaire: discriminating sensory features in young children with autism, developmental delays, and typical development," *Journal of child Psychology and Psychiatry*, vol. 47, no. 6, pp. 591–601, 2006.
- [74] A. Ben-Sasson, E. Gal, R. Fluss, N. Katz-Zetler, and S. A. Cermak, "Update of a meta-analysis of sensory symptoms in asd: A new decade of research," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 49, pp. 4974–4996, 2019.
- [75] C. Gómez Casanueva, "Adaptación de materiales del proyecto Mates GG para alumnado con TEA," Master's thesis, Universidad de Cantabria, 2022, [Adaptation of materials from the Mates GG project for students with ASD].
- [76] J. J. Randolph, "Free-marginal multirater kappa (multirater k [free]): An alternative to Fleiss' fixed-marginal multirater kappa," in *Learning and Instruction on Multiple Contexts and Settings III: Proceedings of the Fifth Joensuu Symposium on Learning and Instruction*, 2005.
- [77] J. L. Fleiss, "Measuring nominal scale agreement among many raters," *Psychological bulletin*, vol. 76, no. 5, p. 378, 1971.
- [78] M. J. Warrens, "Inequalities between multi-rater kappas," *Advances in data analysis and classification*, vol. 4, no. 4, pp. 271–286, 2010.
- [79] U. Jakobsson and A. Westergren, "Statistical methods for assessing agreement for ordinal data," *Scandinavian journal of caring sciences*, vol. 19, no. 4, pp. 427–431, 2005.
- [80] W. S. Ng, P. Watts, Z. Lawson, A. Kemp, and S. Maguire, "Development and validation of a standardized tool for reporting retinal findings in abusive head trauma," *American journal of ophthalmology*, vol. 154, no. 2, pp. 333–339, 2012.
- [81] J. M. García-Ceberino, A. Antúnez, S. J. Ibáñez, and S. Feu, "Design and validation of the instrument for the measurement of learning and performance in football," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 13, p. 4629, 2020.
- [82] C. Pinya-Medina, V. Morcillo-Loro, M. Ferrer-Ribot, and M. d. M. Oliver Barceló, "What competencies should early childhood educators possess for the future? an expert judgement approach," in *Frontiers in Education*, vol. 9. Frontiers Media SA, 2024, p. 1422950.
- [83] J. R. Landis and G. G. Koch, "An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers," *Biometrics*, vol. 33, no. 2, pp. 363–374, 1977.