

Diseño de materiales educativos para dispositivos móviles con GeoGebra: Análisis de un caso

Bayés, Agustina; Del Río, Laura Sombra; Costa, Viviana Angélica

UIDET IMApEC - Departamento de Ciencias Básicas - Facultad de Ingeniería - Universidad
Nacional de La Plata, La Plata, Argentina
agusbayes@gmail.com - laura.delrio@ing.unlp.edu.ar - vacosta@ing.unlp.edu.ar

Resumen

Este trabajo se enmarca en la tendencia del aprendizaje móvil y se presenta un estudio de caso. La investigación es parte de una beca, otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional para el Estímulo a las Vocaciones Científicas, que se desarrolla en el marco de un proyecto de incentivos que pretende mejorar la enseñanza de las ciencias en una Facultad de Ingeniería. En el escrito se analizan en general las características que deben poseer los recursos basados en el *software* GeoGebra para su correcto funcionamiento en celulares y cómo pueden adaptarse aquellos que fueron concebidos para ser usados en computadoras o *tablets*. El caso estudiado es una aplicación diseñada en GeoGebra para el aprendizaje móvil del concepto matemático de Suma de Riemman y de la integral definida, que permite determinar el valor del área de figuras planas. Se readeúa esta aplicación, inicialmente diseñada para su uso en computadoras, para ser usada en teléfonos celulares. Para el análisis del caso, se presenta el estado del arte en materia de aprendizaje móvil y en particular en relación a los criterios de usabilidad.

Palabras claves: Enseñanza de la Matemática – GeoGebra – Aprendizaje Multimedia – Aprendizaje móvil – Usabilidad móvil

1. Introducción

La importancia del uso de las tecnologías digitales en las aulas, en especial como recurso educativo para la enseñanza de las matemáticas, ha sido ya ampliamente estudiada en el ámbito académico. El objetivo de estos recursos es contribuir con el mejoramiento del proceso de aprendizaje, ofreciéndole al alumno un entorno para la exploración, la experimentación y la creatividad que favorezca la comprensión y apropiación de los conceptos y significados de los objetos matemáticos de estudio a partir de la visualización gráfica (Alves, 2012; Carrillo, 2012; Hohenwarter, 2014).

Es sabido también que la sola incorporación de estas tecnologías en el proceso educativo no garantiza las mejoras esperadas, sino que debe acompañarse con reformas profundas en las estrategias de enseñanza.

Sin embargo, las ventajas que ofrecen se pueden ver fuertemente opacadas por cuestiones circunstanciales: la falta de computadoras en los centros educativos, la obsolescencia y falta de mantenimiento de los equipos existentes, pueden atentar contra cualquier iniciativa de innovación incorporando las llamadas TIC (tecnologías de la información y la comunicación).

Estas dificultades podrían verse morigeradas a partir de la integración de dispositivos móviles, que son más portátiles y que potencian las ventajas de estos recursos, por ejemplo, *tablets* y teléfonos celulares. Además, estos están presentes "en casi todas las

modalidades comunicativas de los jóvenes hoy” (Casablanca, Caldeiro, & Odetti, 2016), lo cual implica una gran familiaridad de los estudiantes con estos dispositivos.

De acuerdo con el Informe Horizon Iberoamérica (Durall, Gros, Maina, Johnson, & Adams, 2012), los dispositivos móviles constituyen una de las tecnologías emergentes que con mayor celeridad se lograrán instalar en las instituciones de educación superior en la región, a través de las aplicaciones (*apps*). Una de las causas es que estas constituyen una “forma de entrega de software que reducen significativamente los costos de distribución y comercialización” (p. 5). Los elementos identificados por estos autores que definen la relevancia de estas tecnologías para la docencia, el aprendizaje, la investigación o la gestión de la información son:

- La rápida adopción de teléfonos inteligentes, que posibilita utilizar los dispositivos de los propios estudiantes y docentes como herramientas para la docencia y el aprendizaje.
- El acceso a la información en cualquier momento y lugar, que permite una experiencia de aprendizaje flexible y personalizada, en la que el contexto adquiere importancia.
- El desarrollo del *m-learning* (o aprendizaje móvil) implica la aparición de nuevos modelos y metodologías de presentación de los contenidos de aprendizaje.
- Los teléfonos móviles propician la aparición de nuevas dinámicas de interacción entre docentes y estudiantes, y favorecen el desarrollo de prácticas colaborativas.

Una de las herramientas digitales para la enseñanza de la matemática y de otras ciencias, como la física, que más popularidad ha ido ganando entre los docentes y alumnos de todo el mundo, es el *software* libre GeoGebra. Además de ser un programa sumamente interesante por las posibilidades que ofrece para aprender matemática a partir de la exploración y experimentación, es utilizado mundialmente como *herramienta de autor* por una enorme cantidad de usuarios que crean recursos educativos para la enseñanza de los más diversos temas, y los comparten libremente en una plataforma para que otros usuarios de cualquier lugar del mundo puedan reutilizarlos. Este programa y este conjunto de recursos fueron diseñados originalmente para su utilización en computadoras y *tablets*. Adecuándose a la nueva tendencia del aprendizaje móvil, GeoGebra ha lanzado nuevas aplicaciones, optimizadas para su utilización en teléfonos celulares (Ancsin, Hohenwarter, & Kovács, 2011; Tomaschko & Hohenwarter, 2017). Pero muchos de los recursos antes diseñados por los usuarios, para computadoras, no funcionan adecuadamente en estos.

Esto último da lugar a las preguntas que se pretenden abordar en este trabajo:

- ¿Qué características debe tener un recurso basado en GeoGebra para su correcto funcionamiento en dispositivos móviles?
- ¿Cómo pueden adaptarse a estos nuevos dispositivos los recursos ya diseñados para la computadora?

Para abordar estas preguntas, se propone: investigar acerca del estado del arte en materia de aprendizaje móvil, en particular en relación a los criterios de usabilidad; estudiar cuáles de las directrices de diseño de recursos basados en GeoGebra siguen siendo vigentes para que sean usables en móviles y cuáles deben revisarse o modificarse; seleccionar un recurso existente y adecuarlo para su uso en dispositivos móviles de acuerdo con los criterios encontrados en la literatura y realizar un estudio de usabilidad del mismo.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2, se sintetiza el marco teórico de la investigación, el cual está dividido en tres partes, la primera presenta el

aprendizaje móvil, la segunda expone cómo crear recursos educativos basados en GeoGebra, y la tercera sintetiza el porqué de la necesidad de un marco para la adaptación de los recursos basados en GeoGebra en función de la usabilidad móvil; en la sección 3, se presenta la metodología llevada a cabo; en la sección 4, se describe el recurso seleccionado para realizar la adaptación y en la sección 5, se explica cómo se llevó a cabo dicho proceso; y por último, en la sección 6, se exponen las conclusiones que se pueden desprender del análisis realizado.

2. Marco teórico

2.1 Aprendizaje móvil

Existen múltiples definiciones de *mobile learning* o aprendizaje móvil. Aunque estas no son opuestas, se complementan entre sí, dándole diferentes enfoques. Todas ellas relacionan el aprendizaje y la utilización de dispositivos móviles para llevarlo a cabo.

Podemos destacar las siguientes definiciones:

- Metodología docente que se centra en el uso de dispositivos móviles avanzados destacando sus opciones de ubicuidad espacio-temporal, la aparición de nuevos tiempos y escenarios de aprendizaje (Fombona Cadavieco & Rodil Pérez, 2018).
- Extensión del *e-Learning* que permite a los usuarios lograr el aprendizaje utilizando dispositivos inalámbricos pequeños y portátiles (Kumar & Mohite, 2018).
- Tipo de aprendizaje que se lleva a cabo a través de dispositivos portátiles que proporcionan a sus usuarios satisfacer sus necesidades en cuestión de segundos en términos de acceso a datos cambiantes y comunicación con otros sin apegarse a nada y en cualquier lugar (Göksu & Atici, 2013).

La diferencia principal entre esas definiciones es que las dos primeras vinculan el *m-learning* con la denominada educación en línea mientras que la última hace referencia al aprovechamiento del recurso, pudiendo ser utilizado en el ámbito del aula presencial.

En esta investigación, se considerará la tercera definición, dado que se está pensando en recursos para ser utilizados principalmente en el aula, aunque puedan ser utilizados también fuera de la misma.

Las ventajas que enumeran los autores (Alsaadat, 2017; Drigas & Pappas, 2015; Fombona Cadavieco & Rodil Pérez, 2018; Tomaschko & Hohenwarter, 2017) en relación al aprendizaje móvil son:

- Portabilidad: debido al tamaño de los *smartphones*, son fáciles de transportar a cualquier lugar.
- Ubicuidad: Conectividad independientemente del lugar de ubicación.
- Costo: Es más económico acceder a un teléfono móvil que a otro tipo de dispositivo electrónico.
- Inmediatez de la comunicación.
- Participación de los alumnos: promueve una mejor motivación por parte del alumnado, quienes adoptan un rol más activo en el aula
- Aumento de la alfabetización informática.
- Tutorización: los estudiantes pueden tener la ayuda de un docente, lo que lleva a nuevas formas de interacción.

Además de las ventajas que se nombraron anteriormente del *m-learning*, hay que destacar algunas desventajas:

- El limitado tamaño de la pantalla, lo que obstaculiza que no siempre se pueda ver correctamente el recurso creado para la computadora.
- El docente debe dominar correctamente el uso de las tecnologías, lo que lleva a que deben tener un estudio previo del *software* que van a utilizar.
- Los móviles pueden contribuir con la distracción de los alumnos en clase, dado que cuentan con aplicaciones de fines lúdicos y diversas herramientas de comunicación, que los jóvenes suelen utilizar para conversar con sus amigos (a través del *chat* o de las redes sociales).
- Falta de hábito de este tipo de aprendizaje por parte de los estudiantes y docentes, debido a la escasa extensión del *mobile learning* a la sociedad.
- La diversidad de modelos de *smartphones* y la rapidez con que evolucionan los mismos lleva a tener que actualizar los recursos periódicamente, para que todos los estudiantes puedan utilizarlos.
- La capacidad de memoria de estos dispositivos electrónicos, que resulta ser bastante inferior a la de las computadoras de escritorio.

Estas desventajas conllevan nuevos desafíos a la hora de diseñar recursos usables. Los autores dedicados a la cuestión de usabilidad móvil hacen hincapié en las siguientes recomendaciones:

- Los contenidos deben ocupar poco espacio, siempre cuidando que sean legibles, y se deberían ajustar correctamente dentro de una única pantalla.
- No sobrecargar de información.
- El lenguaje de la interacción entre los alumnos y los móviles debería ser en términos de palabras, frases y conceptos familiares para los alumnos.
- Los recursos creados deben ser eficientes y, sobre todo, no deben ser propensos a errores.
- Deben tener coherencia, es decir, la información y tareas similares deben estar ubicadas en el mismo lugar, para así lograr un fácil reconocimiento.
- En el recurso se debe informar a los alumnos el propósito del mismo.

Estos aspectos a considerar hacen a la *usabilidad* del recurso, definida por Coursaris y Kim (2006, p. 2885) como: "la facilidad con la que las personas pueden utilizar un artefacto tecnológico en particular con el fin de alcanzar un objetivo determinado". Una mala usabilidad, sobre todo por parte de los alumnos, puede llevar a una distracción mayor con respecto a la interfaz. La medición de la usabilidad, en el uso de celulares en el aprendizaje de la matemática, es un área de investigación que recién está comenzando.

Una posibilidad del *m-learning* es la Realidad Aumentada, definida por Cabero, Fernández y Marín (2017) como: "tecnología que permite la combinación de información digital e información física en tiempo real por medio de distintos soportes tecnológicos como, por ejemplo, las tablets o los smartphones, para generar un nuevo escenario formativo enriquecido" (p. 168). La investigación sobre como incorporar la Realidad Aumentada en el ámbito educativo es reciente. En este trabajo, no se abordará en particular esta cuestión.

2.2 Creación de recursos educativos basados en GeoGebra

Un punto de corte en la historia de internet fue el advenimiento de la denominada web 2.0. A diferencia de la web 1.0, en la cual unos pocos usuarios producían contenidos para una mayoría de consumidores, la web 2.0 puso a disposición de los internautas una

gran variedad de formatos y herramientas que permitieron una participación más activa, como por ejemplo, YouTube, Flickr, Twitter, Blogger o Wikipedia (De La Torre, 2006; Sanchez Aguilar, 2012), emergiendo así el concepto de prosumidor, contracción de productor y consumidor (Giurgiu & Barsan, 2008). Para crear contenidos digitales, el usuario no experto en computación recurre a las denominadas herramientas de autor, que “son programas que permiten al usuario crear sus propias aplicaciones multimedia sin necesidad de recurrir a un especialista informático” (Moralejo, Sanz, Pesado, & Baldassarri, 2014, p. 141).

En el campo de la enseñanza de la matemática, el *software* libre GeoGebra permite, entre muchas otras cosas, que los docentes creen sus propios materiales educativos interactivos. Es decir, puede emplearse como una *herramienta de autor*. La plataforma de materiales a la que puede accederse desde el sitio web de GeoGebra (www.geogebra.org) cuenta con miles de recursos de los más diversos temas de matemática (y también de otras disciplinas, como la física) creados y compartidos por la comunidad internacional de usuarios de GeoGebra (Vitabar, 2014).

El formato base de estos materiales es la hoja de trabajo dinámica, que es una página web interactiva que consiste en una figura dinámica (*applet* interactivo) con explicaciones correspondientes, preguntas y tareas para los alumnos. Dichos materiales se pueden usar con fines de presentación, pero su principal propósito es proporcionar un ambiente de aprendizaje para los estudiantes donde puedan activamente realizar experimentos matemáticos guiados (Hohenwarter & Preiner, 2008, p. 318).

De acuerdo con los citados autores, en el diseño de la hoja de trabajo se deben tener en cuenta las siguientes características, cuando sea posible:

- Toda la hoja de trabajo debe entrar en una sola pantalla, para evitar que los estudiantes se deslicen en ella para buscar algún contenido, y se centren en utilizar el recurso con el fin para el que fue creado.
- Al comenzar, la hoja dinámica debe tener una breve explicación sobre su uso, y en lo posible, el texto debe ser corto. Esta característica es de gran importancia, ya que es lo primero que se lee al comenzar a trabajar con el recurso, y va a orientar al alumno en relación a cómo se utiliza el mismo. Además, se aconseja que sean visibles las etiquetas de categoría y se indique qué tipo de recurso educativo es (puede ser un juego, un recurso para visualizar, entre otras opciones)
- Cada hoja, debe incluir pocas tareas, para evitar el desplazamiento en la pantalla. Si sucede esto, una solución posible, es separar la hoja de trabajo en dos. Las tareas no son obligatorias, pero generalmente se utilizan para corroborar si se ha entendido el propósito del recurso.
- Debe contener solo la información necesaria, para evitar que se pierda el enfoque del recurso. Además, se aconseja no agregar imágenes o fondos innecesarios, que puedan contribuir a que se dificulte ver con claridad el recurso.
- Se tiene que tratar de lograr que haya interactividad, es decir, que el alumno pueda explorar el recurso mediante el posible movimiento de algunos elementos de la hoja dinámica.
- Intentar que sea lo más fácil de utilizar posible, para que no se genere una complicación extra y se deba a no saber utilizar el *software*.
- Se deben tener en cuenta las manipulaciones previstas que va a realizar el alumno, y el objeto que se desea que no sea movable, se debe sujetar a pantalla.

Para la definición de estas directrices de diseño, los autores se basan en la Teoría del Aprendizaje Multimedia de Mayer, que versa sobre el uso de materiales didácticos en educación. De acuerdo con lo definido por este autor “el aprendizaje multimedia ocurre

cuando los estudiantes construyen representaciones mentales a partir de palabras e imágenes que le son presentadas (por ejemplo, texto impreso e ilustraciones o narración y animación)" (traducido de Mayer, 2003, p. 125). Este autor asegura que puede llegar a darse un aprendizaje mejor si no se utiliza solo texto.

Este autor propuso algunos principios (Mayer, 2003, 2017; Mayer & Moreno, 2002) para tener en cuenta a la hora de diseñar recursos, aclarando que no deben tomarse como reglas para aplicar en todas las situaciones, sino como lineamientos orientadores:

- Los alumnos aprenden mejor si se incorporan imágenes y no se utiliza solo texto (Principio Multimedia).
- Resulta conveniente que el texto en pantalla sea presentado cerca de la porción de imagen que describe, en lugar de que se presenten lejos (Principio de Contigüidad espacial).
- Los alumnos aprenden mejor cuando imágenes y palabras relacionadas se presentan simultáneamente en vez de presentarse sucesivamente (Principio de Contigüidad Temporal).
- Es recomendable excluir los materiales irrelevantes para lo que se quiere transmitir (Principio de Coherencia).
- Es mejor si el mensaje incluye animación y narración, que si incluye animación, narración y texto en pantalla (Principio de Modalidad).
- Es preferible que el lenguaje utilizado sea coloquial en vez de formal (Principio de Personalización).

Por su parte, Raymond Duval afirma que los objetos de estudio matemáticos, a diferencia de otras ciencias, como por ejemplo la física y la biología, "no son accesibles físicamente, a través de evidencias sensoriales directas o mediante el uso de instrumentos. La única forma de acceder y trabajar con ellos es a través de signos y representaciones semióticas" (Duval, 2006, p. 157). Además, apunta a que los estudiantes deben trabajar con distintos registros de representación semiótica, es decir, deben reconocer un mismo objeto matemático en diferentes registros de representación, transformarlos y seleccionar el o los registros que más se adecuen para representar la problemática a resolver. Sumado a esto, hace hincapié en que el aprendizaje en la actividad matemática no es espontáneo y debe ser trabajado en el contexto educativo.

2.3 Necesidad de un marco para la adaptación de los recursos basados en GeoGebra en función de la usabilidad móvil

Dadas las recomendaciones de los especialistas en relación a las características que deberían tener los recursos educativos basados en GeoGebra y los incipientes estudios en relación a la usabilidad de recursos educativos móviles, se observa la necesidad de construir un marco de referencia para la adaptación de los miles de recursos existentes creados con dicho *software* libre que garantice la usabilidad de los mismos en dispositivos móviles. El presente trabajo pretende ser un aporte en este sentido.

3. Metodología

En primer lugar, se realizó una búsqueda de trabajos académicos relacionados con la usabilidad de recursos educativos móviles, con el fin de conocer las recomendaciones de diseño dadas por los especialistas en el área. También se consideraron las directrices de diseño de recursos educativos basados en GeoGebra (Hohenwarter & Preiner, 2008). Los resultados de este estudio fueron reseñados en el apartado anterior y constituyen el marco teórico del presente trabajo.

A partir del estudio de la literatura, se analizaron múltiples elementos a tener en cuenta para la adaptación de los recursos educativos diseñados con anterioridad para las computadoras, usando GeoGebra como herramienta de autor, para que puedan ser utilizados en dispositivos móviles.

Luego, se pusieron en juego estos elementos en la adaptación de un recurso particular, a fin de analizar si el mismo resultaba usable.

En la siguiente sección, se presenta un recurso que ha sido seleccionado de entre aquellos que se tenían diseñados para la computadora, las problemáticas identificadas en relación a su correcta utilización en dispositivos móviles, y los criterios utilizados para su adaptación y elaboración de una versión móvil.

De este caso de adaptación singular, se desprenden ciertas recomendaciones de diseño específicas que se presentan hacia el final del presente trabajo.

4. La integral definida y las sumas de Riemman

El recurso seleccionado para este estudio, fue diseñado originalmente como un elemento de apoyo para el aprendizaje de los fundamentos del Cálculo Integral, para alumnos de una cátedra de matemática de primer año de una Facultad de Ingeniería. Se tuvo en cuenta el gran desafío que implica para los alumnos el paso del nivel secundario al universitario, intentando disminuir el impacto del mayor grado de abstracción que se requiere al iniciar una carrera en este nivel educativo.

Estudios previos realizados en este contexto educativo, confirman las ventajas de incorporar tecnologías digitales en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática (Del Río, 2017a; Di Domenicantonio, Costa, & Vacchino, 2011), pero a su vez dan cuenta de múltiples dificultades asociadas a su utilización: falta de equipamiento informático en la institución, obsolescencia y falta de mantenimiento de los equipos existentes, dificultades manifestadas por los alumnos al tener que acarrear computadoras portátiles para poder tener acceso a los recursos diseñados (Del Río, 2017b; Del Río, Sanz, & Búcarí, 2017).

En virtud de este diagnóstico, que si bien es de carácter local, se considera que se repite en muchos otros contextos educativos, se propone comenzar a investigar la posibilidad de utilizar dispositivos móviles a fin de recuperar todas las ventajas estudiadas de la integración de recursos digitales, evitando las complicaciones asociadas a la necesidad de computadoras.

Uno de los primeros problemas que intenta resolver el Cálculo Integral, es el de hallar el área plana de una región limitada por curvas. La geometría elemental proporciona fórmulas para calcular áreas de figuras simples, como cuadrados, rectángulos y polígonos en general, y círculos. Pero ¿Cómo determinar el área de una región plana cuyo borde es, por ejemplo, una parábola?

En primera aproximación, se propone intentar *rellenar* la región con rectángulos, de las que es fácil calcular sus áreas, y sumarlas. Para mejorar la aproximación, se propone incrementar la cantidad de rectángulos que recubren la región, tomándolos con bases cada vez menores. Se puede apreciar cómo estas aproximaciones mejoran a medida que se incrementa la cantidad de rectángulos en la secuencia de imágenes de la Figura 1.

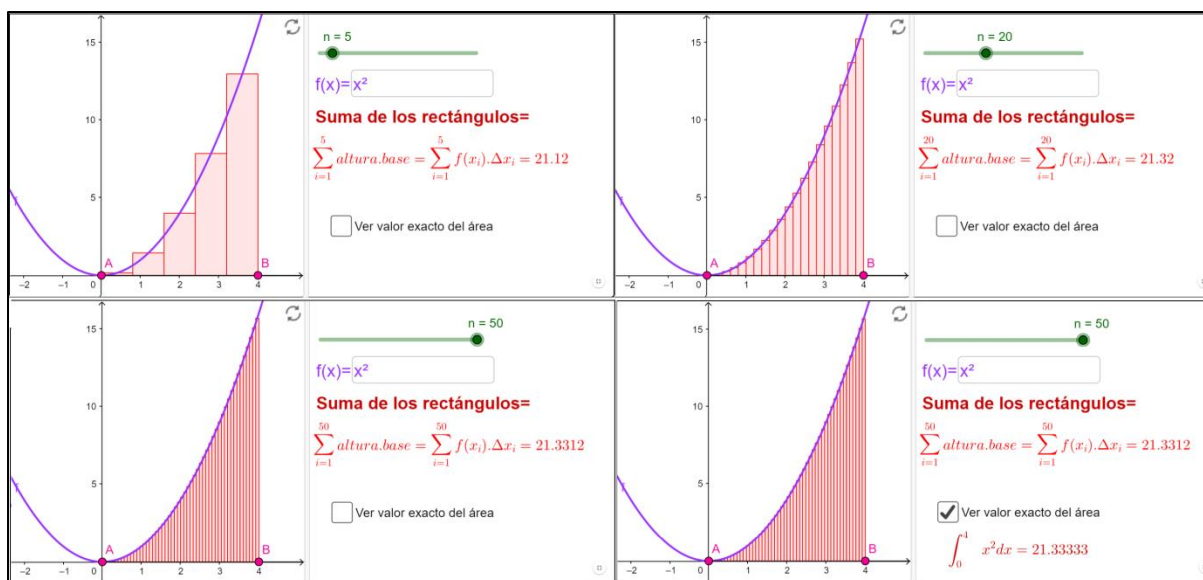


Figura 1 - Se muestran aproximaciones sucesivas del área delimitada entre la curva $y=f(x)=x^2$ y el eje x , en un intervalo dado, tomando un número cada vez mayor de rectángulos. Se puede apreciar que el valor de la suma de rectángulos se aproxima cada vez más al valor exacto del área que se muestra en el panel inferior de la derecha.

El recurso diseñado, en primera instancia para la computadora, pretende ayudar a que los alumnos visualicen estas aproximaciones y cómo van mejorando, de manera dinámica e interactiva, dando lugar además a la comprensión de la necesidad de tomar un límite. Que puedan, con facilidad, estudiar numerosos ejemplos que, de ser realizados manualmente, constituirían una tarea tediosa de cálculos y repetición de figuras. Esto conduce luego a las definiciones de la Suma de Riemman y de la integral definida como límite de una suma de Riemman, que permiten determinar el valor de un área como la del ejemplo en forma exacta.

En la sección siguiente, se da cuenta de las consideraciones que guiaron el desarrollo de este recurso, de las problemáticas que se notaron al intentar utilizarlo en dispositivos móviles y cómo se fueron reemplazando los elementos que implicaban dificultades.

5. Proceso de adaptación

En la Figura 2, se puede ver una captura de pantalla del recurso que se ha seleccionado para la elaboración de su versión móvil.

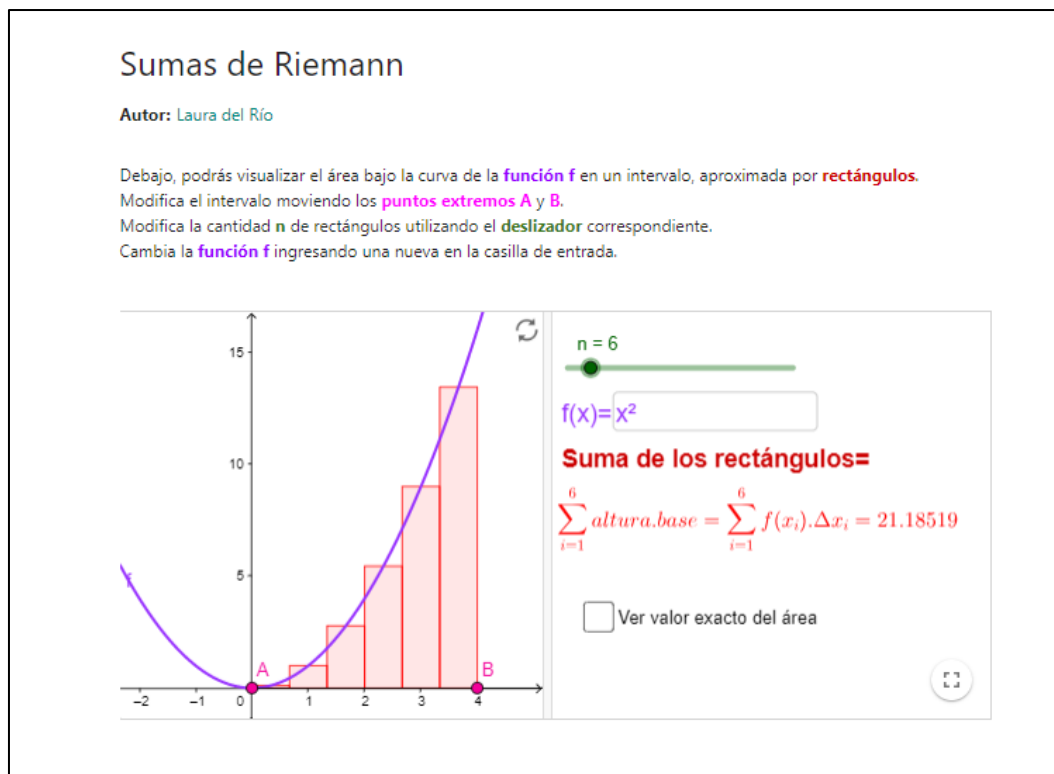


Figura 2 – Captura de pantalla del recurso a adaptar. Disponible en: <https://www.geogebra.org/m/KTkbnbkC>

El recurso presentado en la Figura 2, satisface los lineamientos de diseño recomendados por Hohenwarter y Preiner (2008):

- Se utilizan imágenes y palabras, de acuerdo al principio multimedia enunciado por Mayer.
- La función a estudiar se ingresa en la casilla correspondiente y se presenta junto a su gráfica, así como también los rectángulos a sumar para aproximar el área bajo la curva y el valor de la suma. Además se establece una conexión por colores: La suma de los rectángulos y los rectángulos están en rojo, mientras que la gráfica de la función y su fórmula, están en violeta. Esto apunta a satisfacer el Principio de Contigüidad de la teoría de Mayer.
- En relación al Principio de Coherencia, se observa que no se han incluido en el recurso elementos meramente decorativos.
- De acuerdo al Principio de Personalización, las instrucciones colocadas encima del recurso, fueron escritas dirigiéndose al lector como tú, utilizando un estilo conversacional.
- Todo el recurso cabe en una pantalla de ordenador, siendo innecesario el *scrolling*, o el desplazamiento por la pantalla, para visualizarlo.
- Se incluye una breve explicación al comienzo indicando qué se puede observar y cómo interactuar con el recurso.
- El recurso es completamente interactivo: Se puede modificar la función, el intervalo y la cantidad de rectángulos para aproximar el área bajo la curva. Se cuidó que ningún objeto que no deba moverse pueda ser movido accidentalmente.
- Se utilizó texto dinámico: Al modificar la función y la cantidad de rectángulos, la suma de las áreas de los mismos se adapta automáticamente, permitiendo al estudiante apreciar la convergencia de esta sucesión de sumas de Riemann.

Para adaptar este recurso para que pueda ser visualizado en *smartphones*, en primer lugar se modificaron sus dimensiones, procurando que se visualice en distintos tipos de dispositivos con diferentes tamaños de pantalla, ya que anteriormente no se podía visualizar correctamente en todos. Por otra parte, se ocultaron algunos elementos innecesarios, que obstaculizaban en la pantalla; se utilizaron colores para que el alumno pueda visualizar más fácilmente los elementos. Se verificó que el recurso subido en el repositorio de materiales de GeoGebra fuera matemáticamente correcto. Dentro del recurso, se analizó qué vistas estaban visibles para los alumnos, qué datos había en cada vista y si estos se podían observar o si se superponían.

En el recurso original, se incluyeron dos vistas gráficas. Una para las representaciones gráficas de la función y los rectángulos que aproximan el área, y otra para los controladores (un deslizador para cambiar la cantidad de rectángulos, una casilla de entrada para modificar la función, un texto dinámico para visualizar el valor del área aproximada, una casilla de verificación para mostrar u ocultar el valor exacto del área). Esta práctica es muy común entre los usuarios de GeoGebra que utilizan este *software* como herramienta de autor. De esta manera, la vista algebraica, en donde se muestran todos los objetos creados para conformar el recurso, puede ocultarse, dejando visible solamente aquellos elementos que se desea que el alumno vea. Sin embargo, en la *app* móvil, no es posible utilizar dos vistas gráficas, por lo que esta opción no resulta viable. Se optó entonces por utilizar la vista algebraica para este fin, ocultando, primero, todos los elementos necesarios para la construcción del recurso, pero innecesarios para su uso por parte de los estudiantes, y que aparecían en la misma (para ello, se marcaron como ‘objetos auxiliares’).

El deslizador que posibilita modificar la cantidad de rectángulos, se incluye sin problemas en la vista algebraica.

El texto dinámico que aparecía en la segunda vista gráfica, se colocó en la parte superior de la única vista gráfica disponible en la *app* móvil, y se le colocó un fondo blanco para que no se superponga con los ejes coordenados, ni con la gráfica de la función, ni con los rectángulos.

El texto introductorio, que en la hoja dinámica presentada en la Figura 2 se encontraba en la parte superior, fuera del *applet* en sí mismo, se colocó en un cuadro de texto incluido en la vista gráfica, manteniendo el código de colores para localizar cada objeto con facilidad. Este texto puede ocultarse para trabajar con el *applet* simplemente tocando el cuadro, y puede volver a abrirse cuando se considere necesario tocando el botón *Info*.

La interfaz lograda teniendo en cuenta todos estos criterios, puede visualizarse en la Figura 3. El recurso se encuentra disponible en <https://www.geogebra.org/m/A85U6kB7>, y puede accederse desde la *app* Calculadora Gráfica GeoGebra ingresando el código A85U6kB7 al seleccionar la opción *Abrir* del menú principal. Para acceder al mismo, se requiere conexión a internet, pero luego el material puede guardarse en la memoria local del dispositivo y utilizarse en el aula sin necesidad de conectividad (aspecto que resulta de relevancia en las instituciones educativas latinoamericanas).

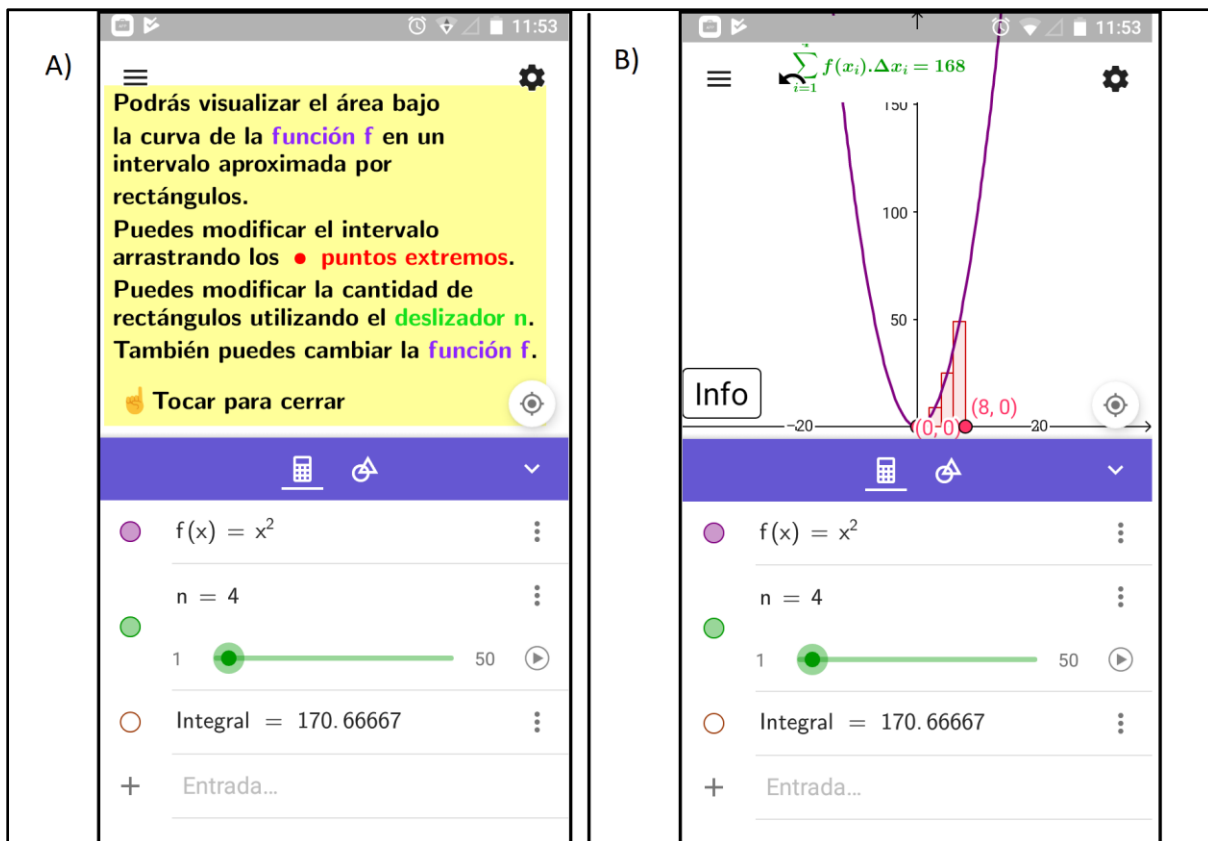


Figura 3 – Interfaz de la versión móvil del recurso mostrado en la Figura 2. En el panel A) puede verse el texto explicativo que se encuentra al ingresar y puede cerrarse tocando sobre el cuadro. En el panel B) se muestra la interfaz lograda para interactuar con el recurso.

Teniendo en cuenta las últimas recomendaciones emanadas desde el equipo del Instituto GeoGebra Internacional, se suplantó el rango de edad predeterminado por el *software*, por uno más acorde a los posibles usuarios del recurso (se estableció el rango en 15-19+ años, dado que es un contenido propio de los últimos años de educación secundaria y comienzos del nivel universitario). Se agregaron etiquetas de tema (integral-cálculo-móvil-sumas de Riemman), para que su búsqueda se dé de manera más sencilla por otros usuarios interesados en su adopción. Estas recomendaciones apuntan a lograr una mejor reutilizabilidad de los recursos, al facilitar la búsqueda por parte de potenciales usuarios.

Por último, se asoció una etiqueta de categoría, especificando que se trata de un tipo de material educativo *interactivo*.

6. Conclusiones

En este trabajo se abordó el potencial que tienen los recursos educativos digitales, remarcado por numerosos especialistas desde hace ya varios años. En particular, en relación a los recursos creados en base al *software* libre GeoGebra.

En este marco, se mencionó que las dificultades asociadas a la integración de las computadoras en las aulas podría verse morigeradas a partir de la utilización de recursos en dispositivos móviles, ya que estos son más portables y abundantes.

En relación a los *applets* y hojas de trabajo dinámicas de GeoGebra para ser usados en computadoras, se enumeraron múltiples recomendaciones de diseño halladas en la

literatura, sin embargo no se encontraron referencias específicas relacionadas con su usabilidad para móviles.

Por otro lado, no todo recurso usable en la computadora resulta inmediatamente usable en estos otros dispositivos, debido a los tamaños reducidos de las pantallas, la menor disponibilidad de memoria, la diferencia entre los sistemas operativos, las interfaces táctiles, entre otras cuestiones.

La baja usabilidad de un recurso atenta contra su efectiva integración en el contexto educativo y es por esto que resulta relevante indagar en esta incipiente área de investigación.

Luego, se presentaron aspectos destacados del aprendizaje móvil, de cómo crear recursos educativos basados en GeoGebra, y se mencionó el porqué de la necesidad de un marco teórico para la adaptación de los recursos basados en GeoGebra en función de su usabilidad móvil.

Se describió y analizó un estudio de caso, correspondiente a la adaptación de un recurso seleccionado para ser usable en celulares.

A partir de la literatura estudiada y analizada, se pudo arribar a algunas recomendaciones en este sentido. Las mismas se pusieron en práctica para el caso de un recurso en particular, pero se considera que pueden generalizarse y ser tomadas como referencia por otros docentes-usuarios-prosumidores para el diseño de sus propios materiales.

A modo de conclusión, se sintetizan a continuación algunas de ellas:

- En relación al tamaño de la pantalla, se sugiere utilizar *applets* con unas dimensiones y una relación de aspecto acordes a los teléfonos celulares y realizar pruebas en distintos dispositivos para asegurarse de que el recurso pueda visualizarse en una gran variedad de estos.
- En función de las recomendaciones de incluir un texto explicativo en las hojas de trabajo dinámicas, y de no incluir tanta información en una sola pantalla que conlleve a realizar *scrolling*, se sugiere utilizar un cuadro de texto incluido en la vista gráfica con las indicaciones (siendo tan minimalistas como sea posible) y que este texto pueda ocultarse con un simple toque con el dedo sobre el mismo. Se sugiere también incluir un botón de información que permita recuperar este texto cada vez que el usuario lo considere necesario.
- Es habitual en la creación de *applets* basados en GeoGebra, la utilización de dos vistas gráficas: una con los objetos matemáticos a visualizar y explorar y otra con diversos tipos de controladores (casillas de verificación que permiten mostrar y ocultar ciertos objetos, casillas de entrada para redefinirlos, deslizadores que permitan manipular parámetros, etc.). Esto no es viable en el caso de recursos para ser utilizados con las *apps* móviles, por lo que se sugiere un mejor aprovechamiento de la vista algebraica, como se detalla en el siguiente ítem.
- En relación a la recomendación de ocultar la vista algebraica en los *applets* diseñados para computadora, por poseer información del recurso irrelevante para su uso (pero necesaria para su construcción), se sugiere la recuperación de esta vista ocultando (marcando como 'objetos auxiliares') a todos los elementos que son innecesarios para la utilización.

- Los deslizadores, que usualmente se colocan en la vista gráfica principal o en una secundaria, pueden colocarse sin inconvenientes en la vista algebraica.

Los recursos compartidos en la plataforma de materiales de GeoGebra cuentan con etiquetas que facilitan su identificación por parte de potenciales usuarios para su reutilización en otros contextos educativos. Se considera que resultaría interesante marcar con la etiqueta *móvil* aquellos recursos que se ha probado que funcionan adecuadamente en *smartphones*.

Este trabajo conduce a diversas líneas de investigación futura. Se debe continuar adaptando recursos para poner en juego las recomendaciones a las que se ha arribado y ampliar las mismas a partir de nuevas experiencias. Además, queda por delante el estudio de la usabilidad en campo: poner a prueba en aulas reales, con alumnos y docentes, los recursos adaptados y realizar encuestas que permitan analizar otros aspectos de la usabilidad que no son apreciables en laboratorio (facilidad de uso para los alumnos y docentes, posibles fallos de la aplicación, entre otros).

Agradecimientos

La investigación ha sido llevada a cabo gracias a una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas (Becas EVC – CIN) otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) EVC 2017 en el marco del “Plan de Fortalecimiento de la Investigación Científica, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en las Universidades Nacionales” (Ac. PI. N° 676/08 y 687/09- Resolución N° 388/18) a la Srita. Agustina Bayés, bajo la dirección de la Dra. Viviana Costa y la codirección de la Mg. Laura del Rio.

Además, el trabajo fue realizado en el marco del proyecto acreditado “Articulación en la enseñanza de las carreras de Ingeniería”, con código 11 / I245, bajo la dirección del Dr. Rossignoli Raúl y financiado por el Proyecto de Incentivos. Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de La Plata.

Bibliografía

- Alsaadat, K. (2017). Mobile Learning Technologies. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 7(5), 2833–2837.
- Alves, F. (2012). Discussão do uso do GeoGebra no contexto do Cálculo a Várias Variáveis. *Revista do Instituto GeoGebra de São Paulo*, 1(2), 5–19.
- Ancsin, G., Hohenwarter, M., & Kovács, Z. (2011). GeoGebra goes mobile. *The Electronic Journal of Mathematics and Technology*, 5(2).
- Cabero Alemanra, J., Fernández Róbles, B., & Marín Díaz, V. (2017). Dispositivos móviles y realidad aumentada en el aprendizaje del alumnado universitario. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 167. <http://doi.org/10.5944/ried.20.2.17245>
- Carrillo, A. (2012). El dinamismo de GeoGebra. *Unión - Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, (29), 9–22.
- Casablanca, S., Caldeiro, G. P., & Odetti, V. (2016). a mirada de los sujetos de educación secundaria en los nuevos escenarios educativos. ¿Qué cambió a partir de la llegada de las netbooks de Conectar Igualdad? En *III Congreso Internacional de Educación de la Universidad Nacional de La Pampa*.

- Coursaris, C., & Kim, D. (2006). A Qualitative Review of Empirical Mobile Usability Studies. En *Americas Conference on Information Systems* (pp. 2885–2897). México DF.
- De La Torre, A. (2006). Web Educativa 2.0. *EDUTEC Revista electrónica de Tecnología Educativa*, 20.
- Del Río, L. (2017a). *Geometría dinámica en entornos hipermedia como facilitadora del aprendizaje de la Matemática*. Universidad Nacional de La Plata. Recuperado a partir de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60817>
- Del Río, L. (2017b). *Geometría dinámica en entornos hipermedia como facilitadora del aprendizaje de la Matemática*. Universidad Nacional de La Plata.
- Del Río, L., Sanz, C. V., & Búcarí, N. (2017). Actitudes de los estudiantes frente a un material hipermedial para el aprendizaje de la matemática: un estudio de caso. *TE&ET | Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología2*, 19, 24–33.
- Di Domenicantonio, R. M., Costa, V. A., & Vacchino, M. C. (2011). La visualización como mediadora en el proceso de enseñanza y aprendizaje del Cálculo Integral. *Union. Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 27, 75–87.
- Drigas, A. S., & Pappas, M. A. (2015). A Review of Mobile Learning Applications for Mathematics. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 9(3), 18–23.
- Durall, E., Gros, B., Maina, M., Johnson, L., & Adams, S. (2012). *Perspectivas tecnológicas: educación superior en Iberoamérica 2012-2017*. Austin, Texas.
- Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación semiótica. *La gaceta de la RSME*, 9(1), 143–168.
- Fombona Cadavieco, J., & Rodil Pérez, F. (2018). Niveles de uso y aceptación de los dispositivos móviles en el aula. *Pixel Bit*, (52), 21–35.
- Giurgiu, L., & Barsan, G. (2008). THE PROSUMER – CORE AND CONSEQUENCE OF THE WEB 2.0 ERA. *Revista de informatica sociala*, 5(9), 53–59.
- Göksu, I., & Atici, B. (2013). Need For Mobile Learning: Technologies and Opportunities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 685–694.
- Hohenwarter, M. (2014). Multiple representations and GeoGebra-based learning environments. *Union. Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 39, 11–18.
- Hohenwarter, M., & Preiner, J. (2008). Design guidelines for dynamic mathematics worksheets. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 6, 311–323.
- Kumar, B. A., & Mohite, P. (2018). Usability of mobile learning applications: a systematic literature review. *Journal of Computers in Education*, 5(1). <http://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40692-017-0093-6>
- Mayer, R. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13(125–139).
- Mayer, R. (2017). Using multimedia for e-learning. *Journal of Computer assisted learning*,

33, 403–423.

Mayer, R., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction, 12*, 107–119.

Moralejo, L., Sanz, C. V., Pesado, P., & Baldassarri, S. (2014). Análisis comparativo de Herramientas de Autor para la creación de actividades de Realidad Aumentada. En *IX Congreso de Tecnología en Educación & Educación en Tecnología* (pp. 140–150).

Sanchez Aguilar, M. (2012). Web 2.0 y educación matemática: posibilidades y desafíos. *Revista Iberoamericana de Educación, 59*(3).

Tomaschko, M., & Hohenwarter, M. (2017). Integrating Mobile and Sensory Technologies in Mathematics Education. En *15th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2017)*. Salzburg.

Vitabar, F. (2014). GeoGebraTube: el siguiente nivel de la experiencia GeoGebra . *Union. Revista Iberoamericana de Educación Matemática, 38*, 143–147.