

Revisión de herramientas para la creación de modelos 3D orientados a la enseñanza de la matemática con realidad aumentada

Tatiana Gibelli^{1,2}, Alfredo Graziani², Cecilia Sanz^{3,4},

¹Centro Interdisciplinario de Derechos Inclusión y Sociedad

²Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro

³III-LIDI Facultad de Informática Universidad Nacional de La Plata

⁴Investigador Asociado de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As.
tgibelli@unrn.edu.ar, alfredograziani@msn.com, csanz@lidi.unlp.edu.ar

Resumen. Frente a las dificultades de los alumnos para la comprensión del espacio tridimensional, se propone el diseño de actividades con realidad aumentada, considerando que esta tecnología puede facilitar el desarrollo del pensamiento espacial. Uno de los requisitos en el diseño de actividades de este tipo es contar con los modelos 3D que se utilizarán. Si bien se pueden utilizar algunos de los modelos que se encuentran disponibles en bibliotecas digitales, en la realización de actividades específicas, surge la necesidad de diseñar los propios. Por ello se realizó una revisión de las herramientas de software, con especial énfasis en aquellas que permiten el trabajo con funciones matemáticas en 3D. En este artículo se presenta un estudio teórico y práctico de dichas herramientas, profundizando en dos de ellas: *Blender* y *SketchUp*. Se considera que este análisis comparativo puede resultar de interés para aquellos docentes que estén trabajando en temas de realidad aumentada.

Palabras clave: Modelos tridimensionales, Herramientas de modelado 3D, Realidad Aumentada.

1 Introducción

El aprendizaje de conceptos de geometría tridimensional suele presentar dificultades por parte de los estudiantes universitarios. En particular se observa esta situación en la Sede Atlántica de la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), en durante el cursado de las materias Matemática I, correspondiente al primer año de la carrera de Licenciatura en Sistemas e Ingeniería Agronómica y en Álgebra correspondiente al tercer año de la carrera de Contador Público. Se considera que esta problemática suele estar asociada a las dificultades para la visualización del espacio tridimensional, que permitiría una interpretación geométrica de dichos conceptos, facilitando la comprensión y el trabajo técnico-algebraico asociado [1]. De acuerdo a la teoría de Representaciones Semióticas, formulada por Raymond Duval, los objetos matemáticos 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 [2]. Duval enfatiza en la importancia de que el alumno pueda representar y reconocer a un mismo objeto matemático con diferentes registros de representación semiótica. Para el aprendizaje de conceptos de geometría tridimensional, la integración de estos dos registros semióticos (algebraico y geométrico), permitiría una comprensión más acabada de los conceptos. Para la interpretación geométrica los estudiantes necesitan imaginar objetos tridimensionales en diferentes orientaciones, trasladar mentalmente la representación en el plano a tres dimensiones. Esta habilidad de pensamiento espacial es esencial para las carreras de Ingeniería y otras del ámbito artístico y científico, pues se utiliza para representar, manipular información en el aprendizaje y en la resolución de problemas [3].

Esta problemática fue abordada desde la investigación en el marco de un proyecto acreditado por la UNRN. El objetivo principal del mismo es investigar metodologías y estrategias innovadoras que favorezcan procesos educativos mediados por TIC, en particular aquellas consideradas emergentes como la Realidad Aumentada (RA). En este contexto se consideró el diseño de propuestas pedagógicas que incorporen el uso de la RA para facilitar el desarrollo de las habilidades de pensamiento espacial.

Para el diseño de actividades educativas con RA, uno de los aspectos a considerar, además de cuestiones pedagógico-didácticas, son las herramientas de software con las cuales se implementará la actividad. Para esta propuesta particular, se observa la necesidad de poder generar modelos 3D propios, acordes a la actividad planificada. Por ello, en este trabajo se presenta una revisión de las herramientas de software disponible para tal fin, con especial énfasis en aquellas que permiten el trabajo con funciones matemáticas en tres dimensiones, poniendo el foco en dos de ellas: *Blender* y *SketchUp*. Por un lado, se analizan las características de cada software, en relación al tipo de licencia, la plataforma de soporte, el nivel de usabilidad y los requerimientos de recursos, esto a partir de la documentación disponible. Por otra parte, se realiza un estudio práctico mediante una experiencia de modelado de funciones matemáticas tridimensionales con las diferentes herramientas de diseño 3D.

A partir de aquí, el artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 presenta antecedentes teóricos sobre el uso de RA en educación y el software y hardware necesarios para su implementación. En la tercera sección se hace una revisión de las principales herramientas para el modelados 3D, profundizando el análisis teórico-práctico de dos de ellas: *Blender* y *SketchUp*. Finalmente, en sección 4 se presenta una discusión sobre cuál sería el software más apropiado según las necesidades específicas de la actividad de RA que se desea planificar.

2 Antecedentes teóricos

2.1 Realidad aumentada y usos en educación

Una de las tecnologías emergentes con posibilidad de inclusión en Educación es la Realidad Aumentada. Según Azuma et al. [4] la RA se caracteriza por: (a) una

combinación de objetos virtuales y reales en un escenario real, (b) usuarios interactuando en tiempo real y (c) una alineación entre los objetos reales y virtuales. Respecto a su potencialidad en el plano educativo, la RA permite incorporar multimedia a los procesos de enseñar y aprender, innovar en la práctica docente y promover el diseño de materiales educativos atendiendo a los requerimientos didácticos [5]. La RA puede proporcionar grandes oportunidades en distintas áreas como la ciencia o la ingeniería, puesto que estas disciplinas conllevan en su currículum un enfoque práctico en el aula [6]. Sin embargo, como señala Prendes Espinosa [7], aún siendo la tecnología lo suficientemente madura para ser útil en los entornos educativos, los nuevos desarrollos de RA llevarán a una nueva generación de aplicaciones que desplegarán mucho más su potencial.

Específicamente para la enseñanza de la matemática, Bujak et al. [8], analizan el uso de la RA desde tres perspectivas: física, cognitiva y contextual, presentando para cada una de ellas ejemplos de aplicaciones existentes de RA, así como pautas para el diseño de futuras experiencias, considerando cuestiones prácticas y tecnológicas. En la dimensión física destacan que las interacciones naturales con objetos físicos fomentan la comprensión de los conceptos en contexto. En la dimensión cognitiva mencionan que la alineación espacio-temporal de la información puede servir como andamiaje en la comprensión de los conceptos abstractos. Finalmente, en la dimensión contextual plantean las posibilidades que brinda la RA para el aprendizaje colaborativo en entornos no tradicionales, generando experiencias de aprendizaje significativas.

En cuanto al uso de RA para la comprensión del espacio tridimensional existen algunas experiencias. Se destaca la que desarrollan De la Torre et al. [3] donde proponen el uso de la RA y tabletas digitales multitáctiles para ofrecer la posibilidad de manipular un modelo digital en tres dimensiones de forma similar a como se hace con un modelo físico. Estos autores presentan resultados de una prueba piloto con 62 estudiantes de tres ámbitos educativos y muestran evidencias de que la realidad aumentada en tabletas multitáctiles es una alternativa válida para los objetivos educativos propuestos.

Sin embargo, además de lo planteado anteriormente, cuando se considera la planificación de una experiencia didáctica con integración de la tecnología de RA, es necesario plantearse la selección del software a utilizar, pues esa elección tendrá consecuencias metodológicas y pedagógicas.

2.2 Software y hardware para realidad aumentada

Las implementaciones de RA requieren de una combinación de software y hardware capaces de presentar una superposición de elementos virtuales en el mundo real. Todo sistema de RA ejecuta de manera secuencial las siguientes tareas [9]: 1) captura de la escena real observada por el usuario e identificación de la misma (recolección de información), 2) fusión de la realidad con objetos sintéticos y 3) visualización de escena aumentada (imagen compuesta ubicando objetos virtuales sobre la escena real). Para concretar cada una de estas etapas son indispensables elementos de

hardware, que pueden incluirse en un mismo dispositivo o en una combinación de varios: a) un dispositivo que capture las características del entorno físico y las transmita al software de realidad aumentada (cámaras web conectadas o integradas, y más específicos, sensores de geoposicionamiento como GPS, acelerómetros, giroscopios); b) un equipo capaz de sustentar el software para procesar dicha información y para enviar datos, que completen la realidad de lo que estamos viendo; y c) un dispositivo que plasme el contenido con la mezcla de la información real y virtual (una pantalla, una pizarra digital, unas gafas de realidad aumentada, un casco HMD, etc.).

En el caso específico del diseño y planificación de actividades educativas con RA, para el análisis y selección de software y hardware a utilizar, se deben tener en cuenta aspectos como el hardware disponible para el profesorado y el alumnado, las etapas del proceso de creación de RA que se quieren abarcar, el nivel de RA que se quiere utilizar, el coste del software necesario y el tipo de licencia (libre o propietario).

En el proceso de creación de RA, se pueden identificar las siguientes etapas, diferenciadas por el software y el hardware intervinientes en cada una [10]: 1) Creación del contenido virtual, 2) Programación de la experiencia de RA y 3) Reproducción del contenido de RA por el usuario final. Para este trabajo se pondrá el foco sobre la primera fase de creación del contenido virtual, principalmente en la indagación de herramientas de software disponibles para este propósito. En particular, el objetivo final es el diseño de una actividad con realidad aumentada para promover en los estudiantes la comprensión de conceptos de geometría tridimensional, por ello, esta primer fase se concentra en la creación de los modelos 3D que se utilizarán.

3 Software para modelado 3D

Existen muchos softwares que ofrecen la posibilidad de crear modelos 3D y animaciones. Mencionaremos a continuación algunos de los principales:

- *Adobe Photoshop CC*: es un potente software que permite modelar y animar en 3D. Es un software privativo, ya que requiere licencia para su uso. Está orientado a modelar, pues las herramientas de animación son escasas .
- *CAD*: toda la familia de software *CAD*, *TinkerCAD*, *FreeCAD*, *AutoCAD*, *OpenSCAD*, entre otros, constituyen herramientas de modelado que están orientados a la Ingeniería, Arquitectura o Mecánica. Permite crear modelos 3D y animaciones, con un enfoque relacionado a la construcción, por ejemplo, planos 3D de una casa o edificio, animación de un motor de un vehículo, etc. Con excepción de algunos como *FreeCAD*, los softwares de esta familia requieren licencia para su uso.
- *3ds Max*: *3DS Studio Max* es un potente software de modelado que cuenta con todo tipo de herramientas para hacer modelos muy profesionales. Requiere experiencia en la materia de modelos y animación, ya que no es sencillo su uso. Empresas como *Blizzard Entertainment* hacen uso de este

software para crear y animar modelos para juegos y películas animadas. Requiere una licencia y una cuota mensual para su uso.

- *Wings3D*: es un software libre de modelado 3D. Tiene una falta de herramientas para animación, lo que no lo hace la mejor opción para animar modelos. Tiene la ventaja que es gratuito y multiplataforma.

Frente a la necesidad específica de modelar funciones matemáticas tridimensionales, muchos de estos softwares, no cuentan con la posibilidad de crear los modelos a partir de una ecuación matemática. Si es posible el modelado a mano, lo que ya requiere conocimiento más profesional de modelado 3D. Por ello el análisis que aquí se presenta, se concentra en dos softwares que sí permiten esta posibilidad: *Blender* y *SketchUp*.

3.1 Análisis teórico y práctico de *Blender*

Blender es un software especializado en el modelado, creación y animación de gráficos tridimensionales. Actualmente, es un software gratuito de código abierto que puede ejecutarse en múltiples plataformas como *Windows*, *Linux*, *MacOS*, entre otros.

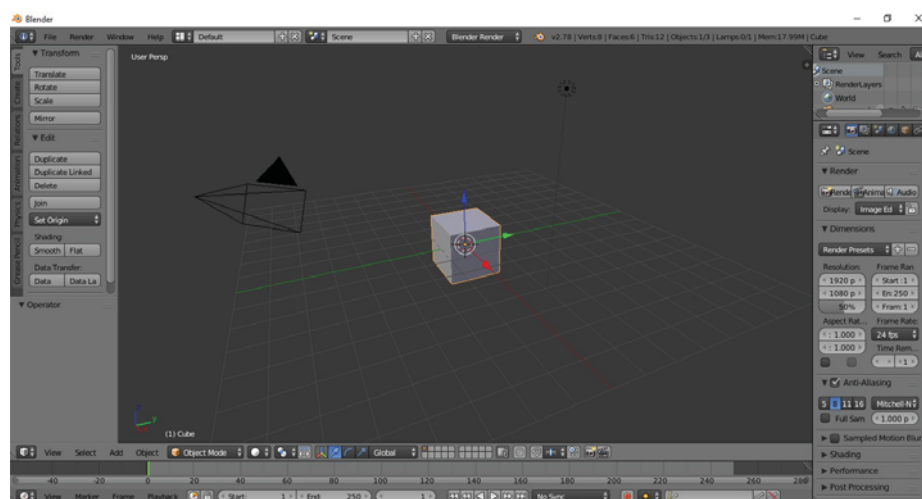


Fig. 1. Interfaz de *Blender* como se muestra apenas se instala

La interfaz de *Blender* (ver Figura 1) es poco intuitiva y resulta algo complicada de entender si se está iniciando con este software. Sin embargo, investigando un poco los menús del software se pueden descubrir algunas funcionalidades básicas. La interfaz de *Blender* está en varios idiomas, incluido el español. Para realizar el cambio de idioma, se debe ir a *File*, luego *User preferences*, pestaña “*System*”. En la parte inferior, menú “*International Fonts*”, se puede elegir el idioma deseado, indicando a quién afecta este cambio: “*Interface*”, “*Tooltips*”, “*New Data*”.

Este software cuenta con tutoriales *online*, oficialmente presentados por la empresa desarrolladora del software, que están en idioma inglés. También ofrecen soporte en

línea (foro) donde se brindan soluciones. Los usuarios tienen acceso a libros sobre el uso de *Blender* (muchos están a la venta, pero hay otros de libre acceso), que lo pueden ayudar a introducirse al programa, o bien, una vez familiarizado, llegar a un nivel más profesional.

Blender ofrece la posibilidad de animar los modelos creados, utilizando una línea de tiempo compuesta por fotogramas, donde en cada uno es posible decidir en qué estado y posición se desea ubicar el objeto. En el menú inferior se puede ver la línea de fotogramas, donde se puede modificar la cantidad de fotogramas para la animación. Para grabar la posición y estado del modelo en un fotograma dado, se necesita seleccionar el fotograma y acceder al menú *Animación* (tecla rápida *I*). En el mismo, se debe insertar una *Clave*, y elegir la opción deseada, como rotar, mover, etc.. Para hacer que rote, por ejemplo, si se ubica una posición inicial en el fotograma 1, y una posición final en un fotograma alejado, el 250 por ejemplo, la animación se encarga de ir rotando el objeto desde la posición inicial a la final automáticamente, no siendo necesario grabar la posición en cada fotograma. Este ejemplo se presenta para dar cuenta de ciertas facilidades que ofrece esta herramienta.

Una vez que se tiene el modelo deseado, *Blender* ofrece la posibilidad de exportarlo en distintos formatos. El predefinido es *Collada (.dae)*. Otros formatos son: *Alembic (.abc)*, *3D Studio (.3ds)*, *FBX (.fbx)*, *Stanford (.ply)*, *Wavefront (.obj)*, *X3D Extensible 3D (.x3d)*, *Stl (.stl)*.

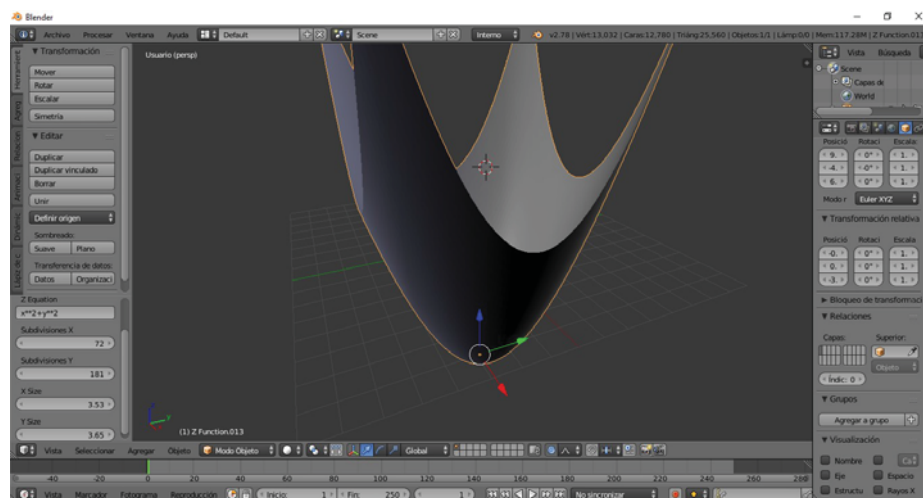


Fig. 2. Modelo gráfico de la función $z=x^2+y^2$ usando software *Blender*

Blender cuenta con complementos (o *plugins*), los cuales son aplicaciones desarrolladas por usuarios, que le agregan al software una funcionalidad específica. En el caso de esta investigación, se usa el complemento *3D Function Surface*¹ que permite incorporar una función dada por ecuación matemática. Una vez instalado el *plugin* (que en las últimas versiones viene por defecto), para modelar los gráficos de

1 https://wiki.blender.org/index.php/Extensions:2.6/Py/Scripts/Add_Mesh/Add_3d_Function_Surface

funciones en 3D, se debe ir al menú inferior de la interfaz, a la opción “Agregar”, y allí se debe seleccionar el submenú “Mallas”, luego “Math Function” y, por último, “Z Math Surface”. Realizada esta secuencia, se muestra un gráfico predefinido cuya ecuación puede verse en la sección inferior izquierda de la pantalla, junto a otras opciones como las del rango del gráfico. Todas estas opciones se pueden editar para obtener el modelo deseado (ver ejemplo en figura 2).

3.2 Análisis teórico y práctico de SketchUp

SketchUp es un software de modelado 3D privativo, el cual ofrece la posibilidad de crear y animar modelos 3D. Este software no es gratuito y su código no está disponible, por lo que se requiere una licencia para utilizarlo. Se ofrece un período de prueba de 30 días, en el cual se puede acceder a todo el contenido del software sin necesidad de pagar. Una vez terminado este período, el software se bloqueará hasta que se adquiera una licencia que otorga acceso a todo el contenido del software, a nuevas actualizaciones y soporte técnico. Las plataformas soportadas por *SketchUp* son *Windows* y *MacOS*. Actualmente no existe una versión para *Linux*.

Cuenta con una amplia gama de tutoriales, libros y ayuda *online*. La licencia del programa ofrece soporte técnico especializado, y hay foros donde consultar a la comunidad por soluciones. Para los principiantes, *SketchUp* desarrolló unos videos introductorios al programa para familiarizarse con el mismo. Estos videos están disponibles al público en general, y están en inglés.

La interfaz de este programa (ver Figura 3) es muy amigable, puede descargarse en idioma español. Cuenta con un menú superior con las herramientas para utilizar, la pantalla de modelado, y un menú lateral derecho que se divide en secciones, una de las cuales es un instructor, que explica y muestra gráficamente el uso de la herramienta que está actualmente seleccionada, haciendo fácil el aprendizaje de ellas.

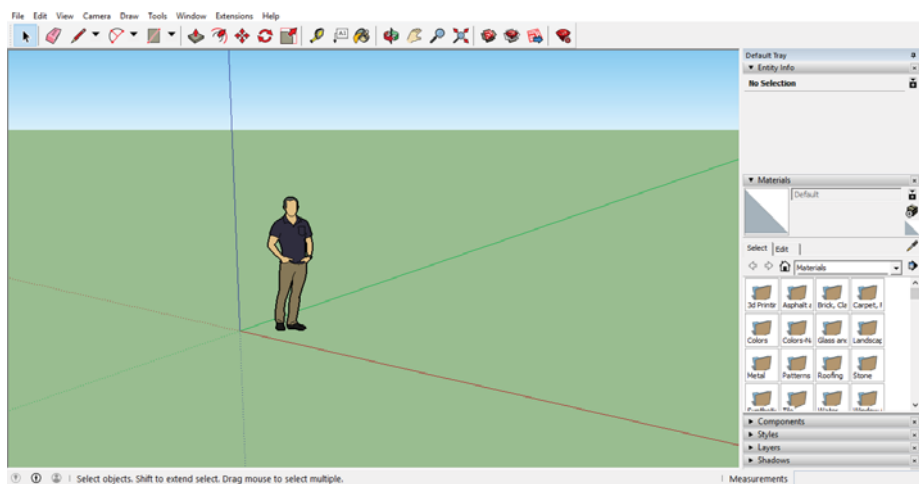


Fig. 3. Interfaz de SketchUp

Este software permite la posibilidad de animación básica donde es posible recorrer el modelo moviendo las cámaras. En el menú *View*, submenú *Animation*, se puede crear una escena con *Add Scene*. La vista del modelo actual es la que se va a guardar en la escena, por lo que si hay 2 escenas vistas de distintos ángulos, al reproducir la animación, el pase de la escena 1 a la 2 va a mover la cámara de un punto a otro recorriendo así el modelo.

SketchUp permite exportar los modelos creados en distintos formatos. El formato por defecto es *COLLADA (.dae)*. Los otros formatos de exportación son: *3DS (.3ds)*, *AutoCAD DWG (.dwg)*, *AutoCAD DXF (.dxf)*, *FBX (.fbx)*, *IFC (.ifc)*, *Google Earth (.kmz)*, *OBJ (.obj)*, *VRML (.wrl)*, *XSI (.xsi)*.

Al igual que *Blender*, *SketchUp* también cuenta con *plugins*, muchos de los cuales están desarrollados por usuarios que no tienen relación con la empresa propietaria del software. Para el modelado de funciones, se encontró un *plugin* específico que permite dada una ecuación del tipo $z=f(x,y)$ crear el modelo 3D del gráfico de la función, llamado *k_tools*². Su funcionamiento es sencillo, una vez descargado, el archivo se debe ubicar en la carpeta *plugins* de *SketchUp* y al reiniciar el programa aparece un nuevo menú en la barra superior llamado *Extensions*. Ahí aparecerá el *plugin* recién instalado y se puede acceder a sus funciones. Para crear un gráfico 3D, se debe acceder a la opción *Graphs*, seguido de *3D-Graph $z=f(x,y)$* . Seleccionada esta opción, se debe ingresar en una ventana el rango de las variables x e y , y la ecuación de la función matemática. Por último se debe seleccionar un estilo; y así finalmente puede verse el modelo generado (ver ejemplo en figura 4).

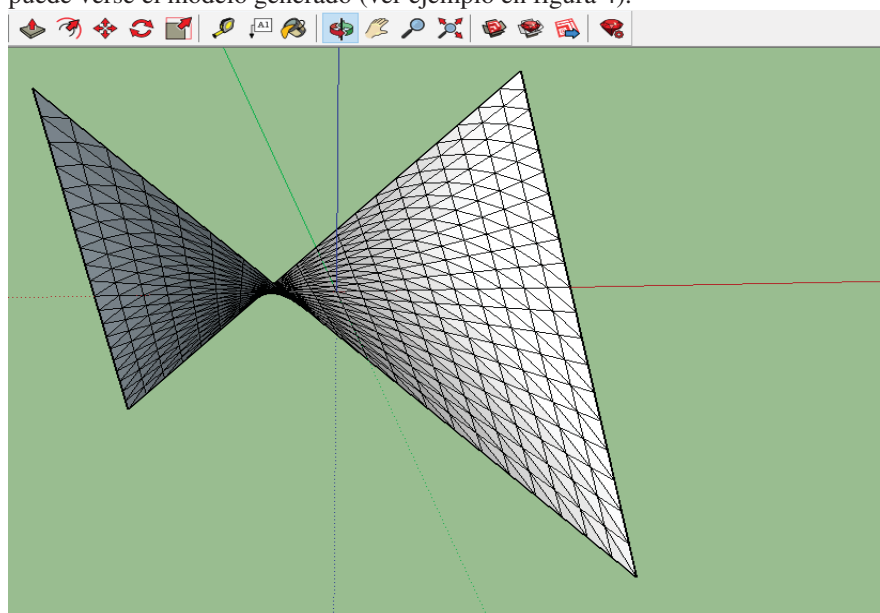


Fig. 4. Modelo gráfico de la función $z=x*y$ usando software *SketchUp*

² http://www.crai.archi.fr/rld/plugin_details.php?id=210

4 Discusión

Se presenta a continuación una comparación entre los dos softwares explorados para la necesidad específica del modelado de funciones matemáticas tridimensionales: *Blender* y *SketchUp*.

Luego del análisis teórico-práctico presentado (en tabla 1 se muestra un resumen de las características exploradas) es posible concluir que *Blender* es una de las mejores opciones para realizar la tarea de modelado de gráficos de funciones 3D. La principal razón es la posibilidad de hacer uso del software de forma libre y que es apto para varias plataformas de sistemas operativos. Si bien inicialmente puede mostrarse un poco difícil su utilización, acostumbrarse a la interfaz es más sencillo de lo que puede parecer en un principio. Cuenta con mucha ayuda *online* por parte de la comunidad y desarrolladores, lo que ayuda a un mejor y más eficiente aprendizaje. Por otra parte, *Blender* cuenta actualmente con el módulo para modelar gráficos de funciones 3D, no hay que buscar *plugin* de terceros para hacerlo. La animación de *Blender* es más potente que otros softwares, es posible ver cómo se está animando el modelo, teniendo una línea de tiempo y configurando qué pasa en cada fotografía.

SketchUp también puede llegar a ser una buena opción, el principal inconveniente es la licencia, la cual puede resultar costosa. Pero una vez adquirido el software, junto con el *plugin* de modelado de gráficos 3D, es un poco más sencillo que en *Blender* llegar al modelo 3D deseado y cuenta con mucho soporte especializado por parte de los desarrolladores, tales como videos online, guías, tutoriales y ejemplos que ayudan a un aprendizaje rápido para un uso básico del software. Sin embargo, resulta mucho más complejo que en *Blender* realizar animaciones en sus modelos, y requiere de más experiencia en el uso del software y conocimiento general de animación.

Tabla 1. Resumen de principales características de los softwares *Blender* y *SketchUp*.

Característica	Análisis de software Blender	Análisis de software SketchUp
Licencia	Gratuita. Código abierto	Privativa. Requiere licencia
Formatos de exportación	3D: Alembic, .3DS, .DAE, Filmbox, Autodesk, Wavefront, DirectX, Lightwave, Motion Capture, SVG, STL, VRML	3D: .3ds, .dwg, .dxf, .dae, .fbx, .ifc, .kmz, .obj, .wrl, .xsi
Plataforma	Windows (7, Vista, 8, 10), Linux, Ubuntu, Fedora, SunOS, Arquitectura 32 y 64 bits	Windows (10, 8+, 7+), MacOS 10.10+
Nivel de usabilidad	Intermedio. La interfaz no es muy intuitiva, y no está en español.	Sencillo. Interfaz básica, cuenta con idioma español.
Requerimiento de recursos	Mínimo: Intel Core i3, Tarjeta gráfica con 1024MB de memoria dedicada.	Mínimo: Procesador 2+ GHz, 8+ GB RAM, Tarjeta gráfica con 1GB de memoria y soporte aceleración de hardware.
Modelado de funciones 3D	Es difícil dar con la herramienta adecuada, una vez encontrada, crear los gráficos es sencillo.	El plugin necesario para graficar es difícil de encontrar. Una vez instalado, graficar es muy básico.

5 Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un análisis de diferentes herramienta para la creación de modelos 3D. En particular, se han revisado en profundidad dos herramientas: *Blender* y *SketchUp*. Uno de los ejes de análisis se ha puesto en las posibilidades para generar modelos a partir de las ecuaciones matemáticas, requisito referido, acorde a la motivación de este trabajo, vinculada a la creación de actividades educativas basadas en RA para la enseñanza de la matemática, y más específicamente la geometría tridimensional. La experiencia práctica realizada con ambas herramientas, así como el análisis teórico, constituye un aporte para docentes que se encuentren en este camino. Esta investigación continuará a partir de la implementación de las actividades de RA utilizando *Blender* para el modelado 3D. Estas actividades están diseñadas y se planifica implementarlas en la segunda parte del año.

Agradecimientos. Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación “La mediación de las tecnologías de la información y la comunicación en procesos educativos. Innovaciones para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje” (PI-UNRN-40-C-486), acreditado por la Universidad Nacional de Río Negro. También se hace un agradecimiento al proyecto REFORTICCA financiado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, a partir del cual se han tomado referencias de estudios sobre Realidad Aumentada.

Referencias

1. Del Río, L. S., Búcarí, N. D. y Sanz, C. V. (2016). Uso de recursos hipermediales para la enseñanza y el aprendizaje de la matemática. In *II Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tandil, 6 al 9 de septiembre de 2016*.
2. 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.
3. De la Torre Cantero, J., Martín-Dorta, N., Pérez, J. L. S., Carrera, C. C., & González, M. C. (2015). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *Revista de Educación a Distancia*, (37).
4. Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(6), 34-47.
5. Avendaño, V. y Domínguez, L. A. (2012). Realidad aumentada: Una exploración al escenario de la virtualidad educativa. Madrid: Editorial Académica Española.
6. Andújar, J. M.; Mejías, A.; Márquez, M. A. (2011). Augmented Reality for the Improvement of Remote Laboratories: An Augmented Remote Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, 54 (3), (492-500)
7. Prendes Espinosa, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (46), 187-203.
8. Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., Macintyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers & Education*, 68, 536-544.
9. Mazen Abdulmuslih, A. (2012). “Análisis de sistemas de realidad aumentada y metodología para el desarrollo de aplicaciones educativas.”. Universidad Rey Juan Carlos.
10. Pajares Ortega, E. P. (2015). Diseño de actividades didácticas con Realidad Aumentada. Trabajo Final. Master de Educación y Comunicación en la Red. UNED.