

## SOFTWARE LIBRE PARA MATEMÁTICA: EN BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS

**Pedro A. WILLGING, Gustavo J. ASTUDILLO**

*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de La Pampa, Argentina  
pedro@exactas.unlpam.edu.ar astudillo@exactas.unlpam.edu.ar*

**Nivel Educativo:** Superior y de Postgrado.

**Palabras Clave:** Matemática, software libre, código abierto.

### RESUMEN

El software específico para matemática es uno de los recursos más poderosos que la tecnología ha brindado a las ciencias matemáticas. Por medio de programas como MatLab, Mathematica, Cabri-Geometre, o S-Plus, las computadoras se convierten en aliados insuperables del docente, estudiante o investigador que trabaje en algún problema relacionado a la matemática. Pero estos programas de propietario son costosos y por lo tanto no siempre están al alcance de todos. En los últimos años, se ha visto un avance notable en el movimiento de software libre y código abierto, lo cual ha traído aparejado la aparición de programas similares a los antes mencionados, pero sin costo para el usuario. En este trabajo, se analiza software libre para matemática, como una alternativa a los productos comerciales.

### INTRODUCCIÓN

La matemática se ha auxiliado desde siempre con diferentes artefactos tecnológicos para resolver o facilitar la solución de los problemas que se le han presentado. Por ejemplo, para agilizar los cálculos de operaciones complejas o para crear representaciones gráficas de los movimientos planetarios. Instrumentos tan antiguos como el ábaco y la tablilla Salamis (de los Babilonios), la escuadra (cuya invención se atribuye a Pitágoras), y el compás (inventado por Galileo), por mencionar sólo algunos, se han utilizado durante años para facilitar la solución de problemas geométricos y algebraicos. Más recientemente, los dispositivos electrónicos y digitales, como las calculadoras y las computadoras, han pasado a ser instrumentos inseparables del quehacer matemático.

La invención de la computadora, tan ligada a la matemática, fue en sus inicios una herramienta sólo para científicos e investigadores. Pero, con el correr de los años y su popularización fue incorporándose al ámbito de la enseñanza y comenzó a ser adoptada por los docentes como recurso pedagógico. En la actualidad, es muy común que los docentes de matemática utilicen la computadora para sus actividades curriculares. Desde simplemente redactar un apunte de clase o un trabajo práctico en un procesador de texto, pasando por la utilización de graficadores de funciones para ilustrar lecciones, hasta la utilización de la computadora como pieza fundamental para el desarrollo de las actividades asignadas a los alumnos.

Existen muchos trabajos científicos que reportan acerca de los beneficios que acarrea la utilización de software de aplicación en los cursos en los que se enseñan conceptos

matemáticos (Avila, Chourio, Carniel, & Vargas, 2007; Guedez, 2005; Ríos, 1998). Tanto en el dictado de las clases de matemática como en la preparación de material didáctico para esas clases pueden emplearse aplicaciones sencillas que abordan y resuelven un único tipo de problema de la actividad matemática, o también potentes paquetes de software que permiten abordar un amplio espectro de problemas matemáticos. Dentro de los primeros, FW (Function for Windows) es un graficador de funciones. Matemática y Matlab son ejemplos de los poderosos paquetes integrados mencionados en segundo lugar.

Las aplicaciones más simples, abordan en general un tema puntual, son fáciles de instalar y tienen una sencilla interfaz de usuario. No exigen demasiados requerimientos de equipamiento. En general, están disponibles para un único sistema operativo y tienen versiones libres o de prueba, estas últimas con menos opciones que las versiones comerciales y suelen tener limitaciones respecto de la documentación y el soporte técnico que brindan.

Los paquetes de software comerciales, por su parte, se caracterizan por estar muy bien documentados a través de manuales (en papel y versiones digitales). Cuentan con direcciones de Internet, casillas postales y números telefónicos (en ocasiones gratuitos) que funcionan como atención al cliente y soporte técnico. Los temas o áreas temáticas son abordadas en profundidad y despliegan un gran número de opciones. Las interfaces con el usuario, aunque bien diseñadas, llevan un tiempo de aprendizaje debido a la cantidad de funcionalidades que ofrecen. Claramente, los requerimientos de equipamiento son importantes, ya que los sistemas necesitan gran cantidad de espacio en disco para instalarse, un procesador potente y memoria suficiente para funcionar adecuadamente y dar respuestas en tiempo y forma. Estos sistemas propietarios son por lo general muy costosos. Estas características hacen que contar con estos sistemas en la sala de cómputo de una institución educativa se vuelva muy oneroso, no sólo por las licencias del software necesarias para cada máquina, sino también por el equipamiento necesario para hacer funcionar el software.

A la hora de elegir una aplicación para trabajar en el aula pondríamos pensar en utilizar una aplicación simple que no insuma un gasto importante y permitan una rápida y fácil instalación. Pero al abordar conceptos muy específicos se corre el riesgo de que el tema no pueda ser tratado en profundidad con esa aplicación o que para abordar algún contenido más complejo se requiera de otras aplicaciones adicionales. Como cada programa cuenta con una interfaz propia se debe invertir tiempo adicional para el aprendizaje de las distintas maneras que cada programa tiene para trabajar y esto puede ser un problema en cuanto a la disponibilidad de tiempo que se ha destinado para cada unidad curricular.

Las aplicaciones propietarias integradas, resuelven el tema de la cantidad y variedad de temas que abordan y del aprendizaje de una única interfaz de usuario para trabajar, pero como mencionamos antes pueden ser costosas para una sala de cómputos de una institución educativa, e incluso sus costos se vuelven prohibitivos para muchos docentes que quieran utilizarlas como herramientas de trabajo.

No es únicamente en la tarea docente donde la utilización de aplicaciones propietarias (sean simples programas o grandes paquetes integrados) tiene un impacto relevante, también las tareas de investigación están ligadas de manera directa con estas aplicaciones. Recientemente, un grupo internacional de 18 matemáticos e informáticos de USA y Europa logró resolver el complejo problema “E8” (descubierto en 1887), lo cual hubiese sido imposible sin la ayuda de las supercomputadoras y las comunicaciones por Internet (Vogan, 2007).

Al tener que seleccionar una herramienta que le permita validar sus investigaciones o que colabore con las mismas, el investigador se encuentra con que ni las pequeñas aplicaciones, ni los sistemas propietarios son la mejor opción. Los programas simples no abordan las temáticas con la profundidad o precisión que, en general, necesita esta actividad; y las aplicaciones integradas, en ocasiones, hacen difícil la extensión y la comunicación de los resultados. Además, en ambos casos no es posible tener acceso al código fuente para conocer cómo el programa realiza los cálculos, actividad esta, muchas veces necesaria para validar los resultados frente a la comunidad científica, y tampoco, es posible determinar si ante un error,

este es responsabilidad del ser humano o un error de cálculo del programa cuando se lo utiliza en los límites de sus capacidades (Joyner, 2007).

Por el importante desarrollo que ha tenido en los últimos años, una alternativa viable al software de propietario es la utilización software libre o de licencia comunitaria. Bajo la filosofía de código abierto se han creado muchas aplicaciones para el área de las matemáticas que cuentan con todas (o casi todas) las funcionalidades de los grandes paquetes integrados comerciales de manera gratuita. En este trabajo, se propone la búsqueda y análisis de software libre para matemática, como alternativa a los paquetes propietarios. Se analizan y describen algunos de los productos libres y de código abierto disponibles, comparando las funcionalidades con sus émulo comerciales, sus ventajas y problemas.

## MARCO TEÓRICO

El empleo de software en las actividades matemáticas se ha generalizado de manera notable debido a los avances en sus desarrollos, que los hacen cada vez más amigables desde el punto de vista del usuario. Productos como Cabri-Geometre, Derive, Mathematica, MathCad, Maple, Matlab, S-Plus y Statistica entre otros, no son extraños a investigadores y docentes de la comunidad matemática.

Dentro del software para matemática se puede plantear una clasificación o una división en diferentes categorías. Esta clasificación surge en virtud de que el software para matemática se torna cada vez más específico. Varios autores (Losada, 2007; Zhao, 1998; Balderas, 1999) plantean clasificarlos de acuerdo a la temática o área de conocimiento (de la matemática) que abordan como por ejemplo CAS (Computer Algebra System=Sistemas de Álgebra Computacional), DGS (Dynamic Geometry System=Sistemas de Geometría Dinámica), o MES (Mathematics Education Systems=Sistemas para Educación Matemática) entre otros. Esta última categoría también conocida como software educativo, aplicaciones informáticas creadas con la finalidad específica de ser utilizados como medio didáctico, es decir, para facilitar los procesos de enseñanza y de aprendizaje (Marquès, 1999).

Si bien una clasificación tan exhaustiva podría ser de utilidad, para simplificar podrían considerarse sólo dos grupos. Por una parte, el software diseñado para la resolución de problemas matemáticos, sin una intencionalidad pedagógica *a priori* y, por otro, aquel que fue diseñado con la clara intención de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la matemática.

El software (no necesariamente el específico para matemática) puede clasificarse de acuerdo a su forma de distribución en dos categorías: software propietario y software libre. Bajo la primer denominación se encuentran los programas informáticos que, siendo desarrollados por individuos o empresas exigen la compra de una licencia para su utilización o distribución de los productos que con ellos se generan. Los usuarios tienen limitadas las posibilidades de usarlo, modificarlo o redistribuirlo (con o sin modificaciones), su código fuente no está disponible o el acceso a éste se encuentra restringido (Culebro, Gomez, & Torres, 2006). La segunda denominación, software libre, agrupa a las aplicaciones informáticas sobre las cuales existe la libertad de ejecutarlas, copiarlas, distribuirlas, estudiarlas, cambiarlas y mejorarlas.

El usuario de software libre cuenta con cuatro libertades básicas: 1) ejecutar el programa para cualquier propósito, 2) estudiar como funciona el programa y poder adaptarlo a sus necesidades, 3) redistribuir copias del programa, y 4) mejorar el programa y liberar esa mejora al para uso público y beneficio de la comunidad (Stallman, 2002). Para garantizar estas libertades Richard Stallman<sup>1</sup> ideó la licencia GPL (General Public License). Esto implica el concepto de código abierto lo cual no sólo significa que el código fuente está disponible. Existen diez condiciones o criterios que se deben verificar para que una aplicación

---

<sup>1</sup> Fundador del movimiento del software libre, de la Free Software Foundation y del Proyecto GNU

informática sea considerada de código abierto. La explicación detalla de cada uno de los criterios puede encontrarse en Coar (2006).

El software de código abierto se ha desarrollado de tal modo que los investigadores ya lo utilizan como alternativa a los programas comerciales. Joyner & Ksir (2006) utilizaron SAGE para computar explícitamente una base en el espacio de Riemman-Roch. Kedlaya (2007) usa también una librería de SAGE para buscar polinomios con todas las raíces en el círculo unitario y cuyas raíces son números racionales.

## METODOLOGÍA

Se hicieron búsquedas en la Web, para determinar la disponibilidad de productos que reunieran las características deseadas, esto es, software libre con aplicación a las matemáticas. Una vez que se obtuvo una lista con varios productos, se analizó en primer lugar la procedencia de ese software, y la vigencia del mismo. Los criterios mínimos que el software debía cumplir para ser considerado como un producto viable fueron los siguientes:

- Ser un software que resuelva problemas propios de la matemática
- Contar con documentación de instalación y manual de usuario
- Contar con una red de soporte técnico en línea
- Contar con asistente de instalación (wizard)
- Contar con distribuciones para diferentes sistemas operativos

## RESULTADOS

Los resultados de la búsqueda descrita en la sección precedente, arrojaron un conjunto de aplicaciones que cumplían con los criterios establecidos. Si bien por cuestiones de espacio no es posible comentar en detalle todas las aplicaciones encontradas, se han elegido algunas a modo de ilustración. La Tabla 1 lista el software libre que se analizó y la aplicación comercial (propietario) de características similares.

Software libre	Software propietario
Geogebra	Cabri-Geometre
SAGE	Magna, Maple, Mathematica
Octave	MatLab
Maxima	Maple, Matemática, Derive
Lenguaje R	S-Plus, SAS/STAT

Tabla 1: Software libre y su similar comercial

### GeoGebra

GeoGebra es un software para matemática que reúne dinámicamente, geometría, álgebra y cálculo. Por tanto, podría ser clasificado como CAS-DGS. GeoGebra, tiene algo de las dos categorías, y esto es lo más interesante. Combina las representaciones gráficas y simbólicas ofreciendo ambas al mismo tiempo (Losada, 2007; Hohenwarter & Preiner, 2007). Además, fue diseñado con fines educativos, por lo que también entraría en la categoría MES. Es una alternativa gratuita al software propietario Cabri-Geometre.

Geogebra permite trabajar con objetos matemáticos como puntos, vectores, segmentos, rectas, secciones cónicas y también con funciones analíticas que a posteriori pueden modificarse dinámicamente. Y por otra parte, se pueden ingresar ecuaciones y coordenadas directamente. Así, permite manejar variables vinculadas a números, vectores y puntos; permite hallar derivadas e integrales de funciones e identificar puntos singulares de una función, como raíces

o extremos.

GeoGebra es un software de matemática diseñado en lenguaje Java<sup>1</sup>, gratuito y de código abierto. Está disponible para su descarga en [www.geogebra.org/download/](http://www.geogebra.org/download/). Y cuenta con versiones para los sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux. El software está disponible en español, e incluye un manual de ayuda en éste mismo idioma. Cuenta con un sinnúmero de sitios desde donde es posible obtener ayuda en línea, particularmente desde su sitio oficial lo invitan a visitar el Foro de Usuarios de GeoGebra. Y GeoGebraWiki, una wiki que ofrece un conjunto de materiales educativos y actividades que se proponen para resolver con GeoGebra. En esta propuesta colaborativa en línea todos pueden contribuir y publicar sus trabajos realizados con el software y tener contacto con docentes que ya tienen experiencia utilizando GeoGebra. Además, el sitio oficial, cuenta con lista de correo para mantenerse informado sobre las nuevas versiones del software.

La instalación del programa es sencilla y cuenta con un asistente que guía los pasos a seguir. Si no deseamos instalar el programa podemos utilizar webstart<sup>2</sup> que iniciará la aplicación en modo online sin necesidad de instalarla en el equipo. Con esta segunda opción se asegura de contar siempre con la última versión, pero obliga a disponer en todo momento de conexión a Internet y el plugin de Java. Los módulos o actividades generados con Geogebra (archivos .jar) son fácilmente exportables a páginas web, por lo que se pueden crear páginas dinámicas en pocos segundos. Incluso, ambientes de aprendizaje virtual como Moodle permiten incluirlos dentro de sus cursos para que docentes y alumnos realicen actividades con ellos.

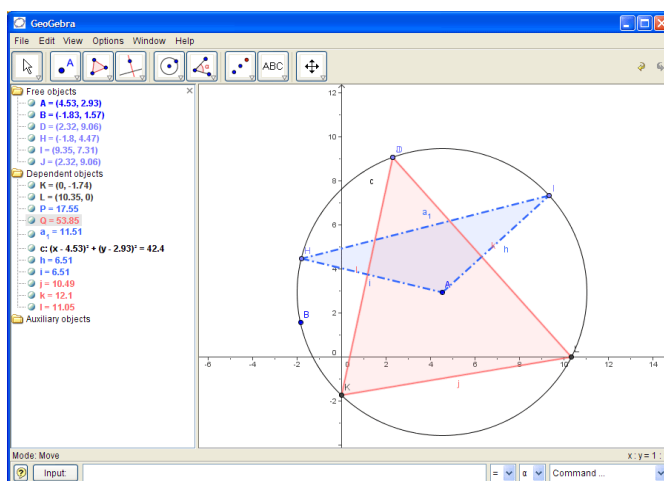


Figura 1: Pantalla de Geogebra (en Windows)

### SAGE (Software for Algebra and Geometry Experimentation)

SAGE es un software para matemática que representa una alternativa gratuita, de código abierto a aplicaciones comerciales como Magma, Maple, Mathematica, o Matlab (Stein, 2008). Uno de los objetivos principales de este software, dice el líder del proyecto William Stein, es que no debe haber más investigaciones que dependan exclusivamente de software cerrado y propietario.

SAGE es un software que se puede utilizar para estudiar temas de álgebra, cálculo, teoría de números, criptografía, computación numérica, álgebra conmutativa, teoría de grupos, combinatorias, teoría de grafos y álgebra lineal abstracta. Lo podemos clasificar dentro del grupo de los CAS.

<sup>1</sup> Lenguaje de programación orientado a objetos, diseñado por Sun Microsystems para el desarrollo de aplicaciones multiplataforma y para la WWW.

<sup>2</sup> El software de Java Web Start permite descargar y ejecutar aplicaciones Java desde la Web.

Desde el sitio web oficial ([www.sagemath.org](http://www.sagemath.org)) se puede acceder a una gran cantidad de material en formato HTML, PDF, código fuente de TeX o formato ODT<sup>1</sup>. Desde tutoriales y un manual de referencia, pasando por guía de instalación y de programación, hasta una guía rápida, preguntas frecuentes (FAQ) y un manual de Python<sup>2</sup>. El único inconveniente es que todo este abanico de información esta disponible únicamente en idioma inglés. En castellano, sólo cuenta con una guía breve y desactualizada acerca del software y sus alcances.

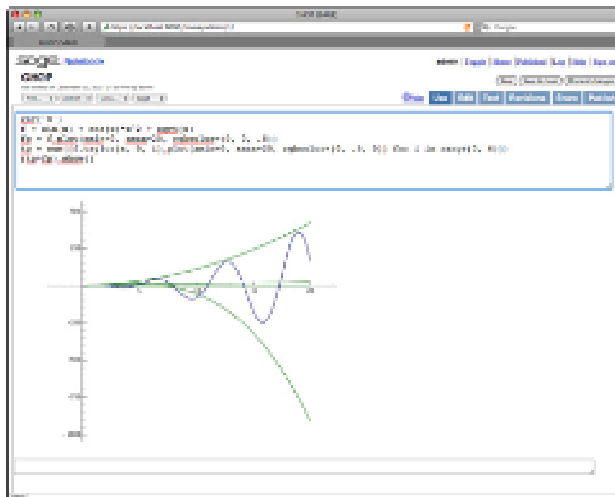


Figura 2: Captura de pantalla de SAGE notebook de una función y su aproximación por series de Taylor<sup>3</sup>

En cuanto al soporte, cuenta con una lista de discusión dividida en soporte técnico, desarrolladores, educación y anuncios. Además, un blog denominado Planet Sage, donde usuarios del programa y el mismo William Stein publican información y discuten ejemplos relacionados con el programa.

SAGE es software multiplataforma (Windows, Mac OS X, y Linux) diseñado con el lenguaje Python y en lugar de proponer un lenguaje diseñado para uso exclusivo dentro del entorno del programa (como Mathematica), SAGE propone la utilización del mismo Python. Esto permite que se puedan realizar programas portables que hagan interactuar diferentes objetos matemáticos entre si.

En la guía de instalación del producto se especifica que la mejor opción para la instalación de SAGE bajo Windows es utilizando la máquina virtual libre VMware player<sup>4</sup>. En Linux sólo hay que descomprimir el paquete para comenzar a utilizarlo. Con SAGE Notebook se pueden crear plantillas interactivas para su publicación en línea. Los Notebook, pueden ser creados y utilizados desde un navegador. De este modo se pueden incorporar gráficos, expresiones matemáticas y controles para iniciar o interrumpir cálculos.

## Octave

Octave o GNU Octave es un software para matemática diseñado por John Eaton (2007), para resolver problemas relacionados al análisis numérico. Como su nombre lo indica, es un software del proyecto GNU<sup>5</sup> lo que implica que se encuentra dentro del software libre de

<sup>1</sup> El Formato de Documento Abierto para Aplicaciones Ofimáticas de OASIS, también referido como OpenDocument u ODF, es un formato de fichero estándar para el almacenamiento de documentos. La extensión para un documento de texto en formato OpenDocument es ODT.

<sup>2</sup> Python es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum en el año 1990.

<sup>3</sup> Obtenida de Flickr, creada por un estudiante de secundaria de Long Island, New York.

<sup>4</sup> VMware es un sistema de virtualización por software. Esto es, un programa que simula un sistema físico (un ordenador, un hardware) con características de hardware determinadas. VMware player, es un producto gratuito que permite correr máquinas virtuales, pero no permite crearlas él mismo.

<sup>5</sup> GNU es un acrónimo recursivo que significa GNU No es Unix (GNU is Not Unix). Es un proyecto que fue iniciado con el objetivo de crear un sistema operativo completamente libre (GNU Linux). Además, se desarrollan en el seno del proyecto aplicaciones para varios propósitos, todas de licencia GPL.

licencia GPL. Es la alternativa libre a MatLab. Octave, además de ser utilizado para el cálculo numérico, se emplea en el procesamiento de señales e imágenes, estadística, geometría, redes neuronales, sistemas de control realimentados y hasta dibujo vectorial (Morales, 2004). Para graficar, Octave utiliza otro software libre llamado GNUPlot.

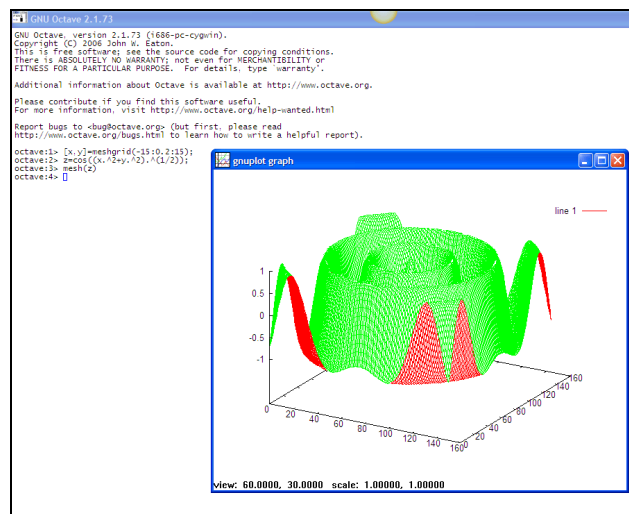


Figura 3: Gráfico 3D de una función en Octave

Octave, escrito en lenguaje C++<sup>1</sup>, cuenta con una interfase para el usuario del tipo línea de comando. En ella se tipean los comandos que tienen una sintaxis similar a la utilizada en MatLab. Existe una interfase, más amigable con el usuario, denominada Octave Workshop, que es un ambiente integrado de desarrollo diseñado para Octave.

Desde el sitio oficial de GNU Octave (<http://www.gnu.org/software/octave/>), en inglés, se ofrece documentación en línea (manual en HTML), una wiki, preguntas frecuentes, una ayuda, y una lista de noticias. Respecto del soporte técnico se ofrecen una lista de discusión y una lista de errores posibles. Si bien este espacio (virtual) no cuenta con documentación en castellano, basta con navegar por Internet para encontrarse con gran cantidad de material sobre Octave, por ejemplo los manuales de Hamilton Castro (2003) y Morales (2004).

El software GNU Octave esta disponible para Linux, Windows y Mac OS. Para la instalación bajo Linux cuenta con versiones para compilar y una versión con un instalador. Bajo Windows, la instalación tiene, también, dos posibilidades. La instalación utilizando Cygwin<sup>2</sup> o utilizando un instalador. La instalación a partir del instalador funciona como toda instalación bajo Windows, siguiendo un conjunto de pasos tutorizados que instalan el programa y, en general, dejan un acceso directo al mismo en el escritorio. La ventaja de instalar Cygwin, para luego instalar Octave, es que si no se lo instala, hay muchas funciones que trabajan muy lentamente bajo Windows.

## Maxima

Maxima es un sistema de álgebra computacional (CAS). Este software libre para matemática, diseñado en lenguaje Lisp, está disponible bajo licencia GNU GPL. Es una alternativa gratuita a otros CAS como Maple o Matemática. Maxima es un sistema para la manipulación de expresiones simbólicas y numéricas, incluyendo diferenciación, integración, expansión en series de Taylor, transformadas de Laplace, ecuaciones diferenciales ordinarias, sistemas de ecuaciones lineales, vectores, matrices y tensores. Puede graficar funciones y datos en dos y

<sup>1</sup> C++ es un lenguaje de programación orientado a objetos, basado en el lenguaje C, diseñado a mediados de los años 1980, por Bjarne Stroustrup.

<sup>2</sup> Cygwin es una colección de herramientas desarrollada por Cygnus Solutions para proporcionar un comportamiento similar a los sistemas Unix en Windows.

tres dimensiones (de Souza, Fateman, Moses, & Yapp, 2004). Las últimas versiones lo hacen a través de GNUPlot.

Desde el sitio oficial de Maxima (<http://maxima.sourceforge.net>) se ofrece una gran cantidad de documentación en inglés, español y portugués. Se proveen manuales, tutoriales, trucos y ejemplos. Cuenta, además, con enlaces a sitios oficiales de otro software libre para matemática y una wiki que cumple la función de FAQ y ofrece varios temas de discusión.

El soporte técnico, está disponible por medio de una lista de discusión en inglés, español, francés y ruso. Además, pero sólo en inglés, un reporte de errores. En ambos casos, activas y con aportes recientes al momento de escribir este trabajo.

Maxima está disponible para Windows, Linux y MacOSX. Para la instalación del programa bajo Windows sólo hace falta seguir los pasos que propone el asistente. Desde la página oficial de Maxima, sólo esta disponible (en la Wiki) una explicación de la instalación bajo UNIX y Linux ya que es necesaria la previa compilación del programa.

### Lenguaje R

R es un lenguaje y entorno de programación libre, para análisis estadístico y gráfico creado por Ihaka y Gentleman (1996), está desarrollado en lenguaje C. Este potente lenguaje de comandos y ambiente integrado de programación para la carga, manejo, análisis y graficación de datos, es utilizado para experimentar con conceptos relacionados a la estadística (Horton, Brown, & Qian, 2004). R provee una gran variedad de técnicas y gráficas para estadística. Puede trabajar modelos lineales y no lineales, test clásicos de estadística, análisis de series temporales, y clustering entre otros. Esta aplicación es una alternativa gratuita a S-PLUS.

Existen varios libros que describen cómo usar R para el análisis de datos y la aplicación a estadística. Además, la documentación escrita para S/S-Plus puede ser utilizada para trabajar con R (Venables et al, 2008). Desde la página oficial del software (<http://www.r-project.org/>), se ofrece el acceso a manuales en formato HTML y PDF (sólo en inglés) que abordan temas cómo: una introducción a R, cómo importar y exportar datos, y la instalación entre otros. También cuenta con preguntas frecuentes, noticias, y una wiki. En el enlace libros, se despliegan más de sesenta títulos de libros relacionados con R y sus aplicaciones a estadística. Existe documentación en castellano, ver por ejemplo Paradis (2002).

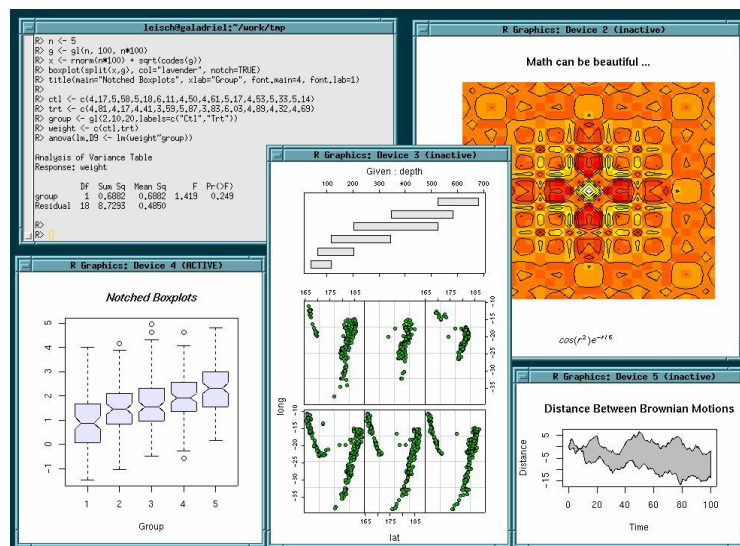


Figura 5: Captura de pantalla de R en ejecución<sup>1</sup>

Respecto del soporte técnico, desde el sitio se ofrecen enlaces a listas de discusión, una página con una clasificación de los errores encontrados y otra donde se encuentran las últimas novedades sobre el desarrollo de R. Los archivos necesarios para instalar R, se distribuyen

<sup>1</sup> © R Foundation, <http://www.r-project.org>



desde el sitio de Internet Comprehensive R Archive Network (CRAN). La instalación sobre Windows se realiza descargando el instalador y siguiendo los pasos que sugiere el asistente. El software R se puede compilar y ejecutar en una amplia variedad de sistemas operativos, desde UNIX o GNU Linux, hasta Windows y MacOS. Como ya mencionamos, R posee la capacidad para realizar gráficos estadísticos y estos pueden ser visualizados de manera inmediata en su propia ventana y además exportarse en varios formatos gráficos (Paradis, 2002).

## CONCLUSIONES

Esta investigación muestra que es posible encontrar software libre que funcione como alternativa a los programas de propietario que se utilizan en los cursos o investigaciones de matemática. Si bien en este trabajo solo se analizó un conjunto limitado de productos, existen en disponibilidad muchos más, que están en constante desarrollo y mejorando sus potencialidades y capacidades.

Del análisis del software surge que la evolución de los mismos es constante y se extienden sus funcionalidades, se corrigen errores y se rediseñan distintas aplicaciones para potenciar sus capacidades y ampliar su campo de aplicación.

De la búsqueda realizada se puede observar que existe, en la Web, un gran número de recursos a disposición de los internautas, como manuales, tutoriales, ejemplos de aplicación y guías de clase que incorporan estos programas gratuitos. Como consecuencia de su carácter libre y abierto, es más factible encontrar información y soporte técnico de este software para el Sistema Operativo GNU Linux, y también es mucho mayor la documentación de soporte en idioma inglés. Esto podría verse como un limitante a la hora de su difusión y uso, sin embargo la tendencia hacia el uso de software libre está en aumento, y el aporte colaborativo de miles de usuarios hace posible que se incremente día a día la disponibilidad de documentación en varios idiomas.

Creemos que este es el inicio de un trabajo mayor. Planeamos la continuación de esta línea de investigación con un análisis más detallado y profundo del software libre para matemática, enfocando aspectos tales como las características pedagógicas, los requerimientos técnicos para un funcionamiento óptimo, las limitaciones que presentan y el modo en que pueden resolverse. Esperamos que los resultados que se han presentado aquí sean de utilidad para docentes, estudiantes e investigadores interesados en la matemática.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ávila, M. C., Chourio, E. D., Carniel, L. C., & Alvarez Vargas, Z. (2007). El software matemático como herramienta para el desarrollo de habilidades del pensamiento y mejoramiento del aprendizaje de las matemáticas. *Actualidades Investigativas en Educación*, 7(2), 1-34.
- Balderas Puga, A. (1999). The influence of information technology in the daily work of mathematics teachers. *International Conference on Mathematics Education into the 21st Century: Societal Challenges, Issues and Approaches*, 3, 1-8.
- Coar, K. (2006). The Open Source Definition. Open Source Initiative. Recuperada el 26 de Marzo de 2008 de <http://www.opensource.org/docs/osd>
- Culebro Juárez, M., Gómez Herrera, W. & Torres Sánchez, S. (2006). Software libre vs software propietario: Ventajas y desventajas. Recuperada el 12 de Abril de 2008 de <http://www.rebellion.org/docs/32693.pdf>.
- de Souza P., Fateman R., Moses J., & Yapp C. (2004). The Maxima Book, Recuperada el 1 de Abril de 2008: <http://maxima.sourceforge.net/docs/maximabook/maximabook-19-Sept-2004.pdf>

- Eaton, J. E. (2007). Octave: Interactive language for numerical computations. Recuperada el 2 de Abril de 2008: <http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/>
- Guedez, M. (2005). El aprendizaje de funciones reales con el uso de un software educativo: una experiencia didáctica con estudiantes de educación de la ULA-Táchira. *Revista Acción Pedagógica*, 14 (1), 38-49.
- Hamilton Castro, A. (2003), Introducción a Octave, Grupo de computadoras y Control, Departamento de Física, Electrónica y Control, ULL.
- Hohenwarter, M., & Preiner, J. (2007). Creating Mathlets with Open Source Tools. In: *Journal for Online Mathematics and its Applications*, Vol. 7. Article ID 1574
- Horton, N., Brown, E., & Qian, L. (2004). Use of R as a toolbox for mathematical statistics exploration, *The American Statistician*. Recuperada el 8 de Abril de 2008: <http://maven.smith.edu/~nhorton/R/>
- Ihaka, R., & Gentleman, R. (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299–314.
- Joyner, D., & Stein, G. (2006). Introducción corta al SAGE: Software para la experimentación del álgebra y de la geometría. Recuperada el 3 de Septiembre de 2007: <http://modular.math.washington.edu/~home/wdj/expository/sage-intro-es.html>
- Joyner, D. (2007). Open Source Mathematical Software. *Notices of the AMS*. Recuperada el 5 de Marzo de 2008 de <http://www.ams.org/notices/200710/index.html>
- Joyner, D., & Ksir, A. (2006). Automorphism groups of some AG codes, *Information Theory, IEEE Transactions on*, 52 (7), 3325-3329.
- Kedlaya, K. S. (2007). Search techniques for root-unitary polynomials. *arXiv:math/0608104v3 [math.NT]*
- Kosan, T. (2007) SAGE For Newbies. Recuperada el 12 de Abril de 2008: [http://sage.math.washington.edu/home/tkosan/newbies\\_book/sage\\_for\\_newbies\\_v1.23.pdf](http://sage.math.washington.edu/home/tkosan/newbies_book/sage_for_newbies_v1.23.pdf)
- Losada Liste, R. (2007). GeoGebra: la eficiencia de la intuición, *Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 10 (1), 223-240.
- Marquès, P. (1999). El software educativo. Universidad de Barcelona. España. Recuperado el 3 de noviembre de 2007 <http://www.doe.d5.ub.es>.
- Morales, A. (2004). CILA - Apuntes de Matemáticas, Octave, Facultad de Matemática, Universidad de Laguna / Grupo de Usuarios de Linux Caras. Disponible en línea en: <http://cila.gulic.org/files/octave.pdf>
- Paradis, E. (2002). R para Principiantes, Disponible en línea en: [http://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts\\_es.pdf](http://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts_es.pdf)
- Ríos, J. (1998). El uso de la tecnología en la clase de matemáticas. IV Congreso RIBIE, Brasilia, Brasil. Recuperado el 10 de Abril de 2008, de <http://www.niee.ufrgs.br/ribie98/TRABALHOS/126M.PDF>
- Rodríguez, M., & Villate, J. (2007). Manual de Referencia de Maxima 5.14.0. Recuperada el 3 de Marzo de 2008: [http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/es/maxima-es-5\\_14.pdf](http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/es/maxima-es-5_14.pdf)
- Stallman, R. (2002). Free software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman. Boston, MA: GNU Press.
- Stein, W. (2008). Sage Reference Manual. Recuperada el 5 de Marzo de 2008: <http://www.sagemath.org/doc/paper-letter/ref.pdf>
- Venables, W. N., Smith, D. M., & The R Development Core Team (2008). An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Recuperada el 4 de Abril de 2008: <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.pdf>
- Vogan, D. (2007). The carácter table for E8. *Notices of the American Mathematical Society*, 54 (9), 1022-1034.
- Zhao, Y. (1998). Blind Trust in Authentic Mathematical Tools in Mathematics Education. *The Internacional Journal of Computers Algebra in Mathematics Education*, 3, 161-173.