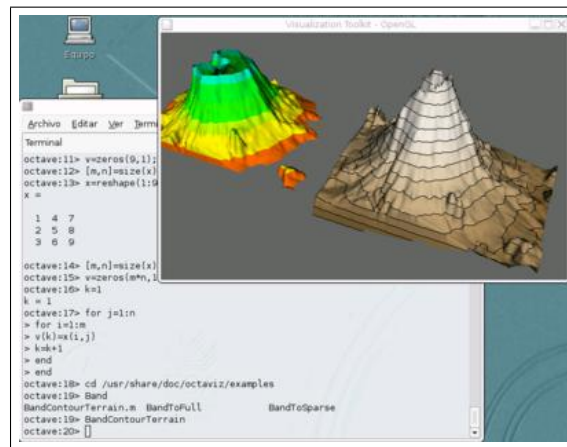


# Matemáticas y Software libre para la docencia en la Universidad de Cádiz

J. Rafael Rodríguez Galván\*

8 de junio de 2005



## Resumen

En el curso 2004/2005, cuatro asignaturas del Departamento de Matemáticas, ubicadas en cuatro titulaciones diferentes de la Universidad de Cádiz, realizaron la experiencia de investigar hasta qué punto el software matemático con licencia libre puede constituir una alternativa, como sustituto o como complemento a las herramientas con licencia privativa que se estas asignaturas habían usado en cursos anteriores.

En el presente documento se recoge el censo y análisis previo que se realizó estudiando las distintas herramientas matemáticas con licencia libre existentes, así como el informe final con las conclusiones de la experiencia.

---

\*Departamento de Matemáticas de la Universidad de Cádiz (<http://www.uca.es/dept/matematicas>). OSLU-CA (Oficina de Software Libre de la Universidad de Cádiz) (<http://softwarelibre.uca.es>).

# Índice

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
1.	Introducción	3
1.1.	El software libre . . . . .	3
1.2.	¿Por qué el software libre en las aulas? . . . . .	3
2.	Requisitos para las herramientas matemáticas	5
<b>II</b>	<b>Censo y análisis previo de las herramientas disponibles</b>	<b>6</b>
3.	Programas de cálculo simbólico	6
3.1.	Axiom . . . . .	6
3.2.	YACAS . . . . .	7
3.3.	GiNaC . . . . .	8
3.4.	Pari . . . . .	8
3.5.	Maxima . . . . .	8
3.5.1.	wxMaxima . . . . .	9
3.5.2.	xMaxima . . . . .	10
4.	Programas de cálculo numérico y matricial	10
4.1.	EULER . . . . .	10
4.2.	Octave . . . . .	11
4.3.	R . . . . .	12
4.4.	Scilab . . . . .	12
4.5.	Tela . . . . .	13
5.	Interfaces de usuario genéricas	13
5.1.	T <sub>E</sub> Xmacs . . . . .	13
5.2.	WIMS . . . . .	14
5.3.	Emacs . . . . .	14
<b>III</b>	<b>Desarrollo de la experiencia y conclusiones</b>	<b>15</b>
6.	Desarrollo y conclusiones desglosadas por asignaturas	17
6.1.	Matemáticas I. Ingeniería Técnica Naval . . . . .	17
6.2.	Ampliación de matemáticas, Ciencias Ambientales . . . . .	17
6.3.	Matemáticas. Licenciatura en Química . . . . .	17
6.4.	Matemáticas. Diplomatura en CC. Empresariales . . . . .	18
7.	Encuesta a alumnos	18
	Referencias	20

©J. Rafael Rodríguez Galván, Universidad de Cádiz. Este documento se distribuye con licencia libre (Creative Commons ShareAlike 2.0 [3]). Puede descargarse una copia del mismo de la dirección <http://softwarelibre.uca.es/docs/informe-sl-mat.pdf>

## Índice de figuras

1.	Axiom, captura de pantalla . . . . .	6
2.	YACAS, captura de pantalla . . . . .	7
3.	wxMaxima, captura de pantalla . . . . .	9
4.	xMaxima, captura de pantalla . . . . .	10
5.	EULER, captura de pantalla . . . . .	11
6.	Octave, captura de pantalla . . . . .	11
7.	Scilab, captura de pantalla . . . . .	12
8.	T <sub>E</sub> Xmacs (ejecutando una sesión Axiom), captura de pantalla . . . . .	13
9.	WIMS, captura de pantalla . . . . .	14
10.	Emacs (utilizando el modo Octave), captura de pantalla . . . . .	15
11.	Resumen de la experiencia docente: tabla de asignaturas y número de créditos . . . . .	16
12.	Encuesta sobre el uso de software por parte del alumno en su hogar . . . . .	19
13.	Evaluación de la experiencia docente por parte de los alumnos . . . . .	19

## Parte I

# Introducción

## 1. Introduccion

### 1.1. El software libre

Muchas personas están acostumbradas a no ser realmente propietarias del software que utilizan, en el sentido que su licencia, prohíbe utilizarlo libremente (por ejemplo, en más de un ordenador), estudiar su diseño, distribuir copias o modificarlo.

Existen, sin embargo, programas cuya licencia hace que el usuario sea realmente dueño del mismo, pues ésta permite e incluso fomenta libertades exactamente contrapuestas a las privaciones anteriores. Así, se llama *Software Libre* a aquél que garantice las siguientes libertades:

0. La libertad de usar el programa, en cualquier momento y con cualquier propósito.
1. La libertad de estudiarlo y modificar el *código fuente* del programa (la información completa sobre su diseño real).
2. La libertad de distribuir copias a quien pueda necesitarlas.
3. La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras, de modo que toda la sociedad se beneficie de ellas.

A los programas que de alguna manera privan de estas libertades se les suele llamar *Software Privativo*.

### 1.2. ¿Por qué el software libre en las aulas?

En todos los niveles educativos, en particular en el universitario, el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación aumenta día a día y en todos los ámbitos. En particular, el uso del ordenador en las aulas de asignaturas de matemáticas está abriendo las puertas en nuestros días a nuevas oportunidades y a terrenos inexplorados.

Durante el curso 2004/2005, cuatro asignaturas del departamento de Matemáticas en distintos centros de la Universidad de Cádiz iniciaron la experiencia de *utilizar software libre como herramienta para la docencia de las Matemáticas*. ¿Por qué esta decisión?.

A pesar de que en niveles educativos previos al universitario la comunidad autónoma andaluza ha apostado firmemente por el uso de software libre para la docencia, dentro del ámbito de la Universidad de Cádiz, como en el resto de las universidades andaluzas y españolas, sigue imponiéndose un modelo basado en el uso de software privativo. La elección de los programas usados en el aula se ampara en la libertad de cátedra del profesor y se guía por consideraciones que deberían ser objetivas, algunas de las cuales como la calidad del producto y su adecuación a los descriptores de la asignatura son, por supuesto, requisitos previos. Pero en la mayoría de los casos, existe más de un programa informático que cumple razonablemente bien los requisitos anteriores, por lo que, para la definitiva elección, es preciso recurrir a consideraciones adicionales. Con frecuencia, estas consideraciones han estado relacionadas con la tradición y la inercia a usar las mismas herramientas de años anteriores.

Aunque raramente se tiene en cuenta un cuestión que, en la práctica, puede tener una gran importancia: la licencia del producto o los productos elegidos y las connotaciones que este factor implica.

Las primeras de estas connotaciones, quizás aquellas que pueden resultar más evidentes, están relacionadas con las restricciones que los programas con licencia privativa imponen para su uso. Por ejemplo, en la mayor parte de los casos, este tipo de licencias impone restricciones sobre el número de ordenadores en los que el software puede ser usado o en la localización de los mismos. Esto significa que, para que un programa pueda ser usado en las aulas, es necesario que la universidad apruebe la inversión necesaria para la adquisición de suficientes licencias y además que éste no podrá ser utilizado en puestos diferentes a aquellos en los que su uso esté autorizado: aulas de informática distintas de las previstas, puestos de libre acceso, hogares de los alumnos o de los profesores...

Además, las restricciones de tipo económico dificultan la posibilidad de que los alumnos puedan utilizar y comparar diferentes herramientas en el aula. Pero la velocidad con la que evoluciona la sociedad de la información puede hacer que tecnologías que hoy son hitos incuestionables sufran mañana severos cambios e incluso lleguen a ser superadas y olvidadas en cuestión de años. Por tanto *una formación basada en la excesiva dependencia de una única herramienta comercial, puede llegar, con el tiempo, a ser obsoleta*. Los estudiantes deberían estar formados en habilidades generales, en conocimiento neutral, y no en los productos concretos de una marca comercial. Sólo de esta manera se garantizará el carácter universal de los conocimientos adquiridos y se evitará que la no disponibilidad de un producto o sus carencias evidencien las lagunas del proceso formativo. El software con licencia libre, como contrapunto, permite y de hecho fomenta el *disponer de varias herramientas a la vez, complementarias o capaces de interactuar entre sí*, cada una de las cuales contará con sus puntos fuertes y sus debilidades. Aunque el profesor se decante por una de ellas, siempre podrá ofrecer a sus alumnos la enriquecedora posibilidad de experimentar con otras, de resolver un mismo problema desde distintas perspectivas y de saciar su curiosidad a aquellos que cuenten con mayores inquietudes.

Conviene destacar, además, que la dependencia de una herramienta privativa en el ámbito educativo conlleva problemas éticos añadidos, puesto que de forma irremisible provoca en el alumnado la *seducción por una marca cuyo precio hará que, en la mayoría de los casos, no pueda ser adquirida legalmente*, incitando su copia ilegal<sup>1</sup>. En el otro extremo se sitúa el caso del software libre permitiendo que el profesor comparta con sus alumnos, con toda legalidad, las herramientas utilizadas (quizás, acompañadas de material docente propio), facilitándoles reproducir en sus hogares el entorno de trabajo del aula. Más aún, al usar en el aula una herramienta con licencia libre, el profesor cuenta con ventajas adicionales a la hora de la planificación y el desarrollo de la asignatura, derivadas de *tener la garantía de que un programa con software libre podrá ser instalado y usado por los alumnos en su propio domicilio*<sup>2</sup>, y de que esta herramienta podrá ser instalada y usada en tantos puestos como sea necesario.

Por otra parte, en un nivel superior, el software libre ofrece la interesante posibilidad de que los alumnos puedan acceder al código fuente, a la forma en que está programada la herramienta que están

<sup>1</sup> Como corrobora la encuesta final realizada a los alumnos (sección 7)

<sup>2</sup> Casi la totalidad de los cuales cuenta con ordenador propio, hoy día, como asimismo se recoge en la encuesta final

utilizando en clase. Esto tiene, en matemáticas, el gran valor de poder estudiar la manera en la que un programa de primer nivel implementa en la práctica los algoritmos que han sido estudiados en las clases teórico-prácticas. El poder observar y modificar el código de un programa profesional, utilizado por miles de personas de todo el mundo, constituye una experiencia tremendamente gratificante, de gran valor docente, como refuerzo y motivación.

Y en último lugar, uno de los argumentos más importantes pero, con frecuencia, no suficientemente valorado, debido quizás al desconocimiento del software libre y a la asimilación social de los valores que conlleva el software privativo: impulsando el software en el aula y con él los valores éticos asociados, *estaremos basando la educación en pilares como la libertad, el conocimiento, la solidaridad y la colaboración*, metas expresamente reconocidas en los estatutos de la Universidad de Cádiz y de todas las universidades andaluzas y españolas.

## 2. Requisitos para las herramientas matemáticas

Se detallan a continuación los requisitos que debería proporcionar un programa para poder ser usado en los primeros niveles educativos de una titulación universitaria que cuente con ciertos requerimientos de cálculo científico.

- *Nivel 0.* Requisitos mínimos:
  - *Calculadora científica.* El requerimiento más básico: se trata de poder realizar todo tipo de operaciones numéricas, almacenar valores en variables, utilizar funciones exponenciales, logarítmicas, trigonométricas, tablas de valores leídos de un fichero...
  - *Resolución numérica de ecuaciones* y sistemas de ecuaciones, calculando (probablemente de forma aproximada) valores numéricos que solucionan las ecuaciones.
  - *Gráficas de funciones 2D y 3D* de distintos tipos: implícitas/explicitas, curvas de nivel, paramétricas,...
  - *Programación* de algoritmos que se ejecuten automáticamente, a partir de determinados parámetros, y produzcan un resultado.
- *Nivel 1.* En función de las necesidades de la asignatura, puede ser conveniente el utilizar programas que se centren en el cálculo con expresiones numéricas de tipo matricial o bien en la manipulación simbólica de expresiones algebraicas y simbólico. Aunque, con frecuencia, herramientas originalmente diseñadas para el cálculo simbólico son aptas para ser usadas para cálculo numérico y matricial (y viceversa), su diseño y su filosofía justifica que las herramientas matemáticas de cálculo se puedan agrupar en dos grupos diferentes:
  - *Tipo A.* Programas de cálculo simbólico. Son programas optimizados para las siguientes operaciones:
    - *Manipulación algebraica de expresiones.* Se trata de poder manipular (factorizar, desarrollar, simplificar, ...) expresiones algebraicas que incluyan variables y parámetros, incluyendo aritmética racional.
    - *Resolución simbólica de ecuaciones* y sistemas de ecuaciones.
    - *Cálculo diferencial e integral:* Cálculo de límites, derivar e integrar funciones (de forma exacta)...

Entre los ejemplos más conocidos en el mundo del software privativo: *Mathematica*, *Maple*, etc. En las siguientes secciones estudiaremos los más representativos con licencia libre.

- *Tipo B.* Programas de cálculo numérico y matricial, de los cuales el más conocido (con licencia privativa) es, sin duda, *Matlab*. Son programas centrados en optimizar y hacer fáciles a la vez las operaciones con expresiones numéricas.

- *Cálculo matricial*: Operaciones numéricas con vectores, matrices, determinantes, trasposición, inversión, cálculo de autovalores,...
- *Manipulación de rangos* de valores numéricos, extracción de rangos de valores de un vector y de submatrices.

## Parte II

# Censo y análisis previo de las herramientas disponibles

A continuación analizamos algunas de las opciones más extendidas en el mundo del software matemático con licencia libre, desde el punto de vista de su uso en la universidad (aunque, probablemente, lo que sigue sea de interés para otros niveles educativos).

Por supuesto, no están todas las herramientas relacionadas con las matemáticas disponibles con licencia libre (sería prácticamente imposible, dado su cantidad) y existen numerosas omisiones algunas de ellas intencionadas (excelentes programas relacionados con la geometría, fractales, calculadoras, juegos,...), pues no eran requeridas por las circunstancias que motivaron el presente estudio. Por otra parte, el análisis de los programas censados no ha sido realizado de forma rigurosa y lleva, por tanto, una cierta dosis de subjetividad, aunque se haya tratado de minimizarla.

## 3. Programas de cálculo simbólico

### 3.1. Axiom

```

Terminal
(23) -> matrix[[x,y,z],[x^2,y^2,z^2],[x^3,y^3,z^3]]
      +x y z +
      | 2 2 2 |
      | x y z |
      | 3 3 3 |
      +x y z +
      Type: Matrix Polynomial Integer
(24) -> determinant(%)
      2 2 3 3 3 2 2 3 3 2
      (x y - x y)z + (- x y + x y)z + (x y - x y )z
      Type: Polynomial Integer
(25) -> factor(%)
      (25) x(y - x)y(z - y)(z - x)z
      Type: Factored Polynomial Integer
(26) -> solve(%=0,z)
      (26) [z= y,z= x,z= 0]
      Type: List Equation Fraction Polynomial Integer
(27) -> []
  
```

Figura 1: Axiom, captura de pantalla

Axiom [2] es un potente sistema de computación científica, creado en 1971 por IBM y comercializado con licencia privativa. No fue hasta septiembre de 2002 cuando Axiom fue liberado por el NAG (Numerical Algorithms Group) [10], que lo había comprado a IBM en años 1990. A partir de su liberación, su comunidad de desarrolladores se está centrando en su extensión, incluyendo aspectos como su interfaz de usuario o soporte de gráficos.

Según el *Axiom Book* [1] (un libro de más de mil páginas, disponible en formato pdf a través de internet), la potencia de Axiom se basa en sus excelentes características estructurales y a su expansibilidad sin límites: es un sistema abierto, modular y diseñado para soportar un gran número de nuevas características con un mínimo incremento en su complejidad estructural”.

**Características:**

- Existe una excelente documentación.
- Es un programa sólido, potente y expansible, con una amplia comunidad que lo soporta.
- Soporte de datos estructurados, moderno lenguaje de programación que impulsa la programación estructurada y el chequeo fuerte de tipos, como en Pascal o en Ada.
- Su interfaz de usuario, por defecto, es en modo consola de texto, aunque admite otras posibilidades, desde su ejecución en un buffer de emacs hasta el uso de  $\text{\TeX}$ macs (sección 5.1), un editor de textos basado en  $\text{\LaTeX}$  que permite empotrar sesiones interactivas con otros programas, entre ellos Axiom.
- Disponible para distintos sistemas operativos: GNU/Linux, Mac OSX, MS Windows,...
- Gráficos: En el momento de escribir estas líneas, el soporte de gráficos 2D todavía no estaba disponible en Debian GNU/Linux<sup>3</sup>, aunque estaba a punto de ser incluido.

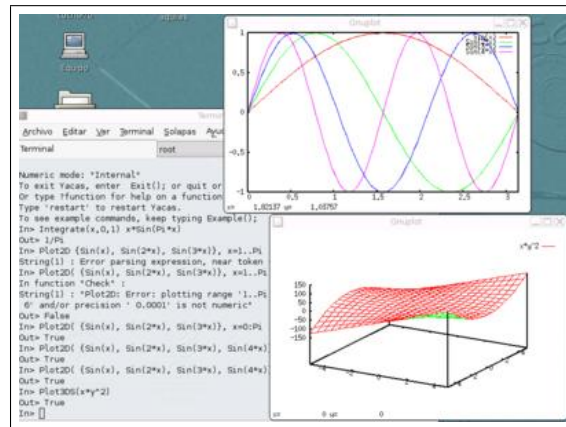
**3.2. YACAS**

Figura 2: YACAS, captura de pantalla

YACAS [24] (*Yet Another Computer Algebra System*) es un entorno de cálculo simbólico de propósito general. Incluye todas las capacidades básicas que se suponen en este tipo de programas: cálculo en precisión arbitraria, aritmética racional, números complejos, cálculo de derivadas, resolución de ecuaciones (simbólica y numéricamente), etc.

**Características:**

- Es un programa moderno, escrito en C++, que está siendo desarrollado por una comunidad muy dinámica.
- Incluye una amplia documentación.
- Existen versiones para numerosos sistemas (GNU/Linux, Mac OSX, distintos sabores de UNIX, MS Windows, etc.)

<sup>3</sup>Guadalinex\_UCA, distribución basada en Debian GNU/Linux, fue la plataforma utilizada en el presente informe

- Interfaz con usuario: Se utiliza la clásica consola de texto para introducir los comandos de YACAS, aunque existe una interfaz de usuario propia, todavía experimental, llamada *proteus* y basada en la librería gráfica *fltk*. Además, existe la posibilidad de utilizar como interfaz el programa *TEXmacs* (sección 5.1).
- Gráficos
  - YACAS incluye soporte de gráficos 2D a través de gnuplot [7], conocida herramienta de gráficos 2D y 3D interactiva y orientada a línea de comandos.
  - Además, existe soporte de gráficos 3D mejorado siempre que se cuente con el programa Superficie [18], que proporciona gráficos de gran calidad mediante OpenGL. Se trata de un programa en desarrollo que ya ofrece interesantes perspectivas. Eso sí, existen versiones para GNU/Linux pero no para MS Windows.

### 3.3. GiNaC

Acrónimo recursivo: GiNaC is not a Computer Algebra System. Ginac [6] es una biblioteca en C++ para realizar cálculos simbólicos. Incluye el programa *ginsh*, una interfaz interactiva que permite trabajar con la librería GiNaC a través de un intérprete de comandos.

Aunque *ginsh* puede tener aplicaciones directas a la docencia, más interesante puede ser el uso de la librería GiNaC como motor de cálculo en un programa C++. Esto puede ser especialmente interesante, por ejemplo, en computación científica, permitiendo manipular algebraicamente datos matemáticos (por ejemplo, funciones indicando valores iniciales o de contorno) leídos de un fichero o introducidos interactivamente por el usuario.

Otro tipo de aplicaciones existentes: EQC es un preprocesador de ficheros  $\LaTeX$  que, usando GiNaC, permite manipular algebraicamente expresiones matemáticas escritas en  $\LaTeX$ . Existe un modo para su uso integrado en Emacs.

### 3.4. Pari

Pari [12] es una biblioteca de álgebra computacional escrita, en este caso, en C e inicialmente diseñada para teoría de números por Henri Cohen (Université Bordeaux I, France) y otros colaboradores. Actualmente, permite numerosas operaciones adicionales (matrices, polinomios,...). Existe una interfaz, GP, que facilita el uso de Pari mediante un intérprete de comandos interactivo. El entorno 5.2 también utiliza Pari como motor matemático.

### 3.5. Maxima

En los años 60, el prestigioso MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) inició el proyecto MAC (*Mathematics and Computation*) con el objetivo de desarrollar herramientas computacionales “inteligentes” para ser aplicadas al estudio de modelos físicos. Como fruto, nació *Macsyma* (*MAC’s SYmbolic MANipulator*), que constituyó el primer proyecto con éxito en la automatización de operaciones matemáticas de tipo simbólico. En este sentido, puede considerarse el padre de todos los programas de cálculo simbólico actuales. *Macsyma* originó numerosas variantes, entre ellas *DOE-Macsyma*, subvencionada por el Department of Energy (DOE) de los EE.UU. De esta variante nació Maxima [9], que fue mantenida entre 1982–2001, por W. Shelter, que intercedió para que, en 1998, el DOE autorizara su distribución con licencia libre (GPL).

#### Características:

- Cuenta con el apoyo una comunidad de desarrollo muy dinámica, que trabaja constantemente para su actualización, mejora y soporte.
- Disponible para distintas plataformas, tales como GNU/Linux, MS Windows, etc.



- Cubre sobradamente las necesidades básicas de cálculo simbólico para un alumno de primer curso de una titulación universitaria.
- Gráficos:
  - Tiene comandos propios para la representación de gráficos 2D y 3D que, por defecto, utilizan el programa *gnuplot*. Por tanto, muchas las ventajas e inconvenientes de los gráficos en Maxima son achacables a *gnuplot*.
  - Los comandos de representación de gráficos tienen previsto el utilizar, a bajo nivel, otros programas distintos de *gnuplot*, como *geomview* que permite la visualización de superficies 3D con calidad OpenGL e interactuar con ellos, cambiando luces, texturas, etc.
- Maxima cuenta con manuales y documentación que pueden descargarse libremente de internet. Además, existen numerosos recursos bibliográficos del original Macsyma, que son en un alto porcentaje, aplicables a Maxima.
- Maxima incorpora un completo lenguaje de programación propio, derivado del Macsyma original. Eso sí, este lenguaje no es demasiado intuitivo y no incorpora las características de lenguajes más modernos (como estructuras de datos o programación orientada a objetos).
- Interfaz con usuario: por defecto, utiliza una interfaz poco amigable (de tipo consola de texto). Pero existen numerosos programas libres que actúan como interfaz sobre Maxima, algunos de ellos de tipo genérico, como *T<sub>E</sub>Xmacs* (estudiado en la sección 5.1), Emacs (sección 5.3) o *WIMS* (sección 5.2) y otros de específicamente diseñados para facilitar el uso de Maxima, como *xMaxima* (sección 3.5.2) o *wxmaxima* (sección 3.5.1),

### 3.5.1. wxMaxima

*wxMaxima* [23] es una interfaz que pretende facilitar el uso de Maxima, a través de una serie de menús, barras de botones y ventanas asociadas.

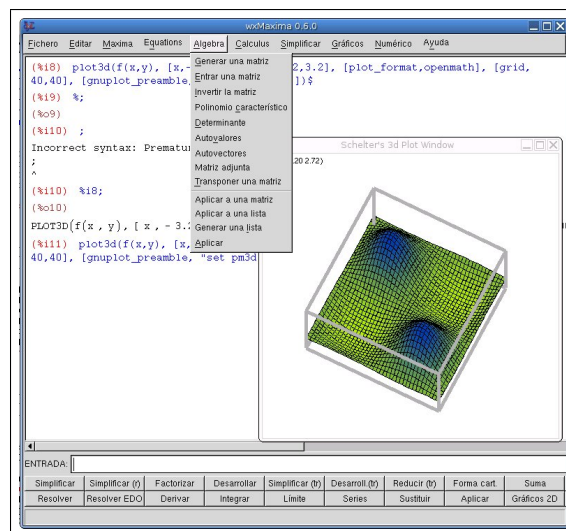


Figura 3: wxMaxima, captura de pantalla

### Características

- Gracias a que utiliza la biblioteca gráfica *wxwidgets*, existen versiones tanto para sistemas operativos GNU/Linux como para Windows.

- Integra distintos documentos de ayuda de Maxima de forma que éstos son fácilmente accesibles a través del ratón.
- Introducción de matrices, creación de gráficas, cálculo de límites, de derivadas o integrales, etc. Son numerosos los conceptos que cuentan con ventanas específicas gracias a las cuales se simplifica el uso de Maxima.
- Para las personas que prefieren usar los comandos de Maxima, existe una entrada de diálogo que permite introducirlos, acceder y editar los comandos anteriores, etc.

### 3.5.2. xMaxima

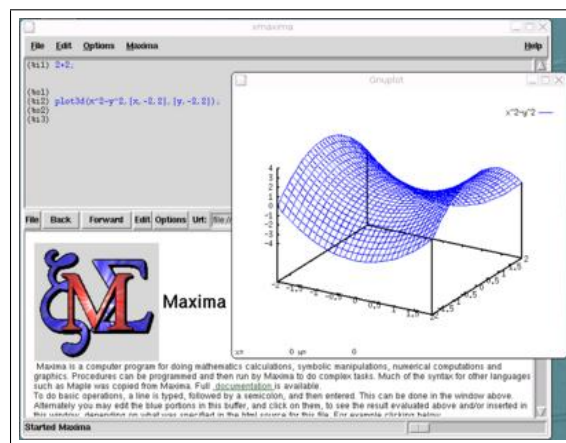


Figura 4: xMaxima, captura de pantalla

xMaxima es una una interfaz gráfica que se incluye por defecto con el programa Maxima y que tiene una filosofía similar a wxMaxima. Históricamente, ha sido la interfaz gráfica “oficial” de Maxima y, de hecho, en algunos sistemas como MS Windows es la que se arranca por defecto. Sin embargo, presenta algunas desventajas con respecto a wxMaxima:

- Su interfaz gráfica, basada en las librerías *TCL/TK*, es antigua y tiene menos prestaciones.
- No cuenta con ventanas y menús que puedan servir como apoyo para la introducción de comandos en Maxima.

## 4. Programas de cálculo numérico y matricial

### 4.1. EULER

EULER [5] es un programa más de cálculo numérico matricial del estilo de Matlab y Octave (aunque no intenta ser compatible con ellos). Es un programa sencillo y flexible, que contiene, tanto en sus versiones GNU/Linux como MS Windows una interfaz de usuario propia bastante cómoda (utilizando las librerías *GTK* en GNU/Linux) y buenos gráficos 2D y 3D.

Otras características:

- moderno lenguaje de programación, con soporte valores por defecto para parámetros, número de parámetros variable, paso de funciones,...
- Incluye las funciones básicas requeridas para este tipo de programas: integración y diferenciación numérica, estadística, interpolación, transformada de fourier, ecuaciones diferenciales, etc.

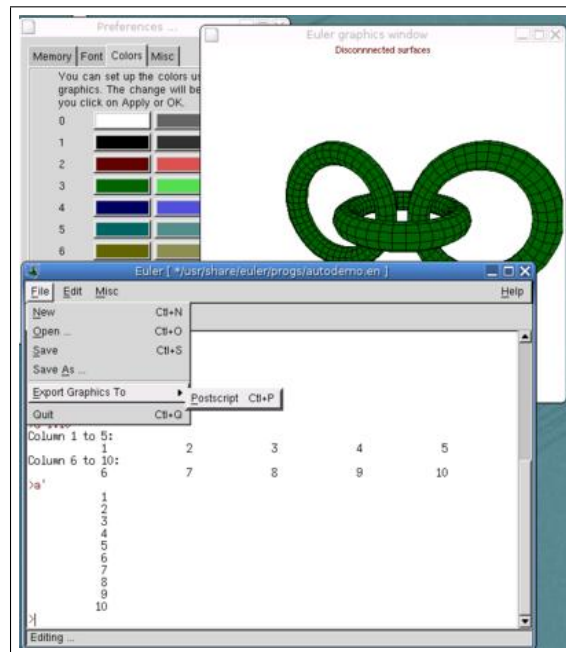


Figura 5: EULER, captura de pantalla

## 4.2. Octave

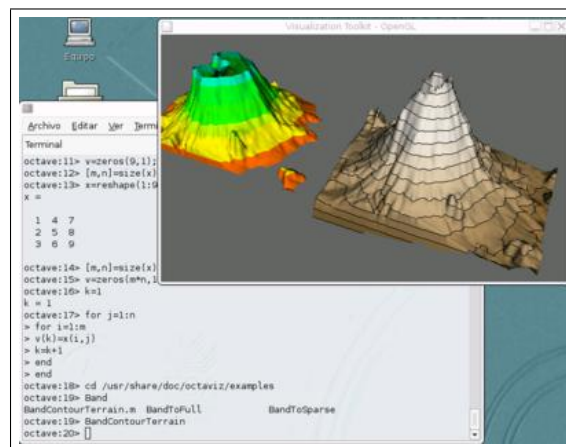


Figura 6: Octave, captura de pantalla

Octave [11] fue creado en 1988 por John W. Eaton como soporte a un libro de texto sobre ingeniería química en la Universidad de Texas con el objetivo de crear un lenguaje de cálculo numérico fácil de usar, interactivo y con una amplia comunidad de usuarios. En 1994 con la versión 1.0, obtuvo su madurez para la enseñanza, la investigación y la empresa. Sus autores lo definen como *A high-level interactive language, primarily intended for numerical computations that is mostly compatible with MATLAB.*

Existen distintas interfaces de usuario (entre ellas, algunas de propósito general, como `tex-macs` (ver sección 5.1) y `emacs` (sección 5.3) y otras específicas, como `Octivate` (basada en `.NET+GTK` y, por tanto, multiplataforma, aunque se encuentra todavía en fase de desarrollo).

Octave cuenta con gráficos 2D y 3D a través de funciones que son, a priori, compatibles con Matlab y que utilizan `gnuplot` como motor gráfico, aunque también existe un soporte alternativo



*commercial use or circulation of the DERIVED SOFTWARE shall have been previously authorized by INRIA and ENPC.*

## 4.5. Tela

Tela [19] es un lenguaje de cálculo numérico diseñado, especialmente, para tareas relacionadas con el pre-proceso y post-proceso numérico. Incluye un intérprete de comandos y soporte de gráficos 2D y 3D basados en plotmtv [13], un buen programa para la visualización de datos científicos.

Utiliza de forma nativa el formato HDF [8], uno de los estándares específicamente diseñados para la lectura y escritura e intercambio de datos científicos.

## 5. Interfaces de usuario genéricas

En esta sección se describen interfaces que pueden facilitar al usuario el interactuar con varios (en ocasiones casi todos) los programas listados anteriormente.

### 5.1. T<sub>E</sub>Xmacs

T<sub>E</sub>Xmacs [20] es un proyecto iniciado en 1998 por Joris van der Hoeven en el C.N.R.S (Instituto Nacional Francés para la Investigación Científica) y algunas personas más, con el propósito de escribir una aplicación destinada a redactar textos matemáticos de forma sencilla. Su nombre tiene raíces en el sistema TeX, en el que se basa y en el conocido editor de textos Emacs, del que toma parte de su filosofía.

El resultado es un editor de textos de tipo WYSWYG<sup>4</sup> que permite la creación de textos matemáticos y científicos con la calidad que aporta L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, utilizado como motor de maquetado.

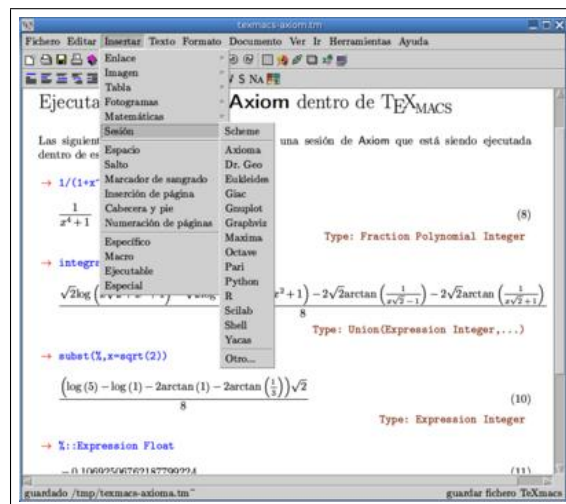


Figura 8: T<sub>E</sub>Xmacs (ejecutando una sesión Axiom), captura de pantalla

Pero el verdadero potencial de T<sub>E</sub>Xmacs estriba en la posibilidad de incorporar y utilizar con comodidad sesiones interactivas de motores de álgebra simbólica (entre ellos entre ellos Axiom, YACAS, Maxima, etc) o de cálculo numérico (entre ellos Octave y R). En este sentido, T<sub>E</sub>Xmacs es “la interfaz universal” para programas matemáticos, aportando a los mismos ventajas adicionales: introducción de expresiones con la ayuda del ratón, control e interrupción de los procesos, mejora del aspecto de las salidas matemáticas, etc.

<sup>4</sup>What You See is What You Get, lo que ves (en pantalla) es lo que obtienes (al imprimir)

## 5.2. WIMS

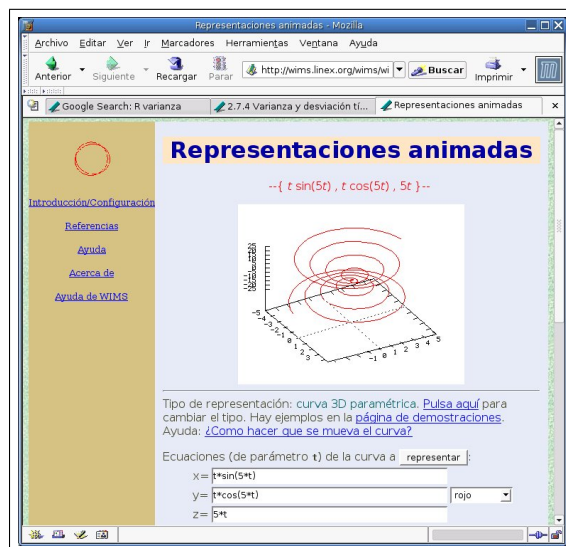


Figura 9: WIMS, captura de pantalla

Según el libro “Iniciación a WIMS” [25] de Georges Khaznadar, “WIMS es un programa servidor que distribuye unas páginas de ejercicios de ciencias a través de las redes. Respeta el estándar del World Wide Web Consortium (W3C), por lo que WIMS es accesible desde cualquier navegador Web. WIMS contiene gran cantidad de ejercicios y de herramientas matemáticas. El motor de WIMS y una gran parte de los módulos actualmente distribuidos son debidos a Gang XIAO.”

“El acrónimo W.I.M.S. significa, entre otras cosas, Web Interactive Mathematical Server: Servidor Web Interactivo de Matemáticas. Se puede acceder por Web, como por cualquier servidor http. WIMS está constituido por un rico paquete de módulos científicos y matemáticos y es fácil de usar como recurso para la enseñanza. Además, una pequeña formación es suficiente para desarrollar uno mismo unos módulos extraordinarios.”

En la práctica, WIMS [22] es un recurso docente potente, fácil de usar y con interesantes posibilidades, para usar el cual basta con tener un navegador web y conectarse a cualquiera de los servidores distribuidos en Internet. Dentro de España, la Junta de Extremadura está promoviendo la traducción de los módulos que aún no tenían una versión en castellano, a la vez que mantiene su propio servidor [17].

WIMS utiliza, a bajo nivel, distintos motores matemáticos, como Maxima, o Pari, gráficos, como gnuplot, o de cualquier otro tipo, lo que lo convierte en una “navaja suiza” muy extensible, que trasciende a campos del saber (física, química,...) más allá de las matemáticas, para el que fue inicialmente diseñado.

## 5.3. Emacs

Emacs es mucho más que un potente editor de textos. Tremendamente configurable, constituye una plataforma de desarrollo con modos específicos para decenas de lenguajes de programación (desde los lenguajes más utilizados con propósito general, como C, hasta otros más específicos, como awk). Emacs incluye soporte para  $\text{\TeX}$ / $\text{\LaTeX}$  (incluyendo interesantes entornos como whizzy o preview-latex) y por supuesto, modos para todos los programas matemáticos que se han descrito en las páginas anteriores.

Emacs incluye, por ejemplo, modos de trabajo para Octave y Maxima. Con respecto a Maxima, además de un modo que permite ejecutar una sesión maxima dentro de Emacs, existe una

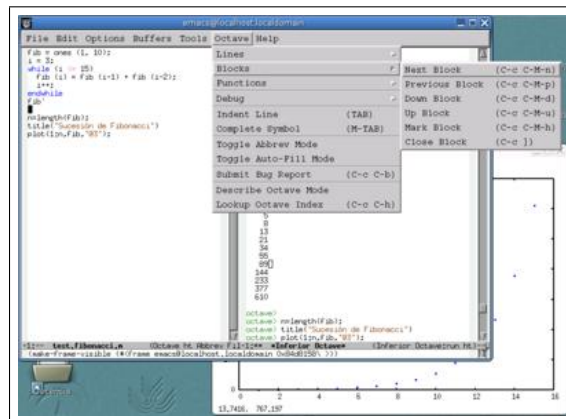


Figura 10: Emacs (utilizando el modo Octave), captura de pantalla

variante, “imaxima”, que usa T<sub>E</sub>X para embellecer las salidas (ver imagen anterior) haciéndolas más legibles.

Otro modo interesante es “emaxima”, ideado para la redacción de documentos T<sub>E</sub>X/L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X que incluyan sesiones o comandos de Maxima. Este modo se ha utilizado para la redacción del manual de introducción y prácticas con Maxima [26], elaborado expresamente para esta experiencia docente, usado en algunas asignaturas de la Universidad de Cádiz durante el curso 2004/2005 y publicado con licencia libre.

### Parte III

## Desarrollo de la experiencia y conclusiones

En la figura 11 se pueden apreciar las cuatro la asignaturas del departamento de Matemáticas de la Universidad de Cádiz que iniciaron la experiencia de usar software libre para su docencia.

En tres de estas asignaturas, se escogió el programa Maxima, por ser el que reunía los requisitos exigidos por ellas: en primer lugar, el cálculo simbólico y numérico, manipulación de expresiones algebraicas, resolución de sistemas de ecuaciones, cálculo matricial, límites, derivación e integración simbólica. Y en segundo lugar, la posibilidad de representar gráficos de funciones de una y dos variables y la existencia de interfaces de usuario tan cómodas como sea posible. El primer grupo de cuestiones eran satisfechas por la práctica totalidad de los programas de cálculo simbólico con licencia libre que fueron evaluados. Sin embargo, al entender de los profesores implicados en la experiencia, el segundo grupo de requisitos eran satisfechos con mayores garantías por Maxima. Además, Maxima, tenía la ventaja de contar con una de las comunidades de usuarios y desarrolladores más activas y con cierto bagaje de uso en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Cádiz a través del programa con licencia privativa Macsyma, usado hace años por algunos profesores de este departamento como apoyo a su investigación.

Para el uso de Maxima en las aulas, se redactó una guía de uso y de prácticas que puede encontrarse en la dirección web <http://softwarelibre.uca.es/matematicas>. Como se comenta en la sección 6, Maxima, utilizado junto a T<sub>E</sub>Xmacs (sección 5.1), cubrió las necesidades básicas de las asignaturas involucradas en la experiencia e incluso su estudio indicó su aptitud para asignaturas de cursos superiores.

En la cuarta asignatura, a pesar de que se usó Maxima ocasionalmente, se optó por el uso de WIMS (sección 5.2), por considerarlo más adecuado para su uso por parte de alumnos de un menor perfil científico. Puede también accederse a algunas de las prácticas utilizadas, a través de la dirección web anterior.

---

### **Matemáticas I. Ingeniería Técnica Naval**

---

*Curso:* primero  
*Software Utilizado:* Maxima  
*Número total de créditos:* 1  
*Profesores:* M. Victoria Redondo Neble

### **Ampliación de matemáticas, Ciencias Ambientales**

---

*Curso:* primero  
*Software Utilizado:* Maxima, Mathematica (licencia privativa)  
*Número total de créditos:* 6 (2 de ellos usando software libre)  
*Profesores:* Aurora Fernández Valles

### **Matemáticas. Licenciatura en Química**

---

*Curso:* primero  
*Software Utilizado:* Maxima  
*Número total de créditos:* 2  
*Profesores:* Loreto del Ágila Garrido

### **Matemáticas, Diplomatura en CC. Empresariales**

---

*Curso:* primero  
*Software Utilizado:* WIMS, Scientific Work Place (licencia privativa)  
*Número total de créditos:* 9 (en el 50 %, aproximadamente, se ha usado software libre)  
*Profesores:* Carlos Vinuesa Sánchez, J. Rafael Rodríguez Galván

**Total:** 9'5 créditos (95 horas, aproximadamente)

Figura 11: Resumen de la experiencia docente: tabla de asignaturas y número de créditos



## 6. Desarrollo y conclusiones desglosadas por asignaturas

### 6.1. Matemáticas I. Ingeniería Técnica Naval

Para las prácticas de ordenador de Ingeniería Técnica Naval, en la especialidad “Estructuras Marinas”, se utilizó de forma exclusiva el programa Maxima, dentro del sistema operativo Guadalinux\_UCA<sup>5</sup>, que estaba instalado en el aula de informática y del que se repartieron copias a los alumnos. Se les indicó, además, la forma de utilizarlo en otros sistemas operativos como MS Windows. Con el fin de utilizar una interfaz tan amigable como fuera posible, se utilizó el editor T<sub>E</sub>Xmacs (sección 5.1).

En años anteriores se habían realizado prácticas de ordenador usando software privativo (Derive), aunque en los últimos cursos éstas se habían suprimido. Por lo tanto esta experiencia significó una vuelta al uso de los ordenadores en la asignatura.

La experiencia fue positiva, tanto los alumnos como la profesora se manifestaron satisfechos con la experiencia y ésta ha mostrado interés por repetirla el próximo curso, posiblemente aumentando el número de horas dedicadas al ordenador.

### 6.2. Ampliación de matemáticas, Ciencias Ambientales

En esta asignatura se había empleado tradicionalmente el programa Mathematica (con licencia privativa) para las prácticas de ordenador. Inicialmente, la idea era utilizar Maxima con el fin de evaluar si este programa constituía una alternativa viable como sustituto o complemento del programa anterior.

No obstante, problemas ajenos a la asignatura hicieron que no fuera posible usar Maxima de forma exclusiva. Concretamente, los problemas que surgieron con las aulas de ordenadores en las que, en principio, iba a ser impartida la docencia hicieron que a los servicios de informática de la Universidad de Cádiz no les fuera posible el tener a punto este programa en las aulas para la fecha de inicio de las clases, por lo que fue necesario comenzar usando Mathematica y posteriormente complementarlo con Maxima.

Cada curso tenía 1.5 créditos (quince horas), pero solamente fue posible destinar 0.5 créditos a Maxima. Aun así, la experiencia fue positiva desde el punto de vista de ofrecer a los alumnos una panorámica de Maxima, de modo que comprobaran que, siempre que lo necesiten, existen herramientas que pueden sustituir con garantías a los programas privativos dentro de los contenidos de la asignatura.

### 6.3. Matemáticas. Licenciatura en Química

En esta asignatura se había utilizado en años anteriores el programa Mathematica, por lo tanto el objetivo de la experiencia docente era evaluar hasta qué punto podía ser complementado o sustituido por el programa Maxima (con licencia libre). El aula de informática tenía instalado el sistema operativo Guadalinux\_UCA, que incluye este programa junto con varias interfaces, entre las cuales se optó por T<sub>E</sub>Xmacs (sección 5.1).

La experiencia fue muy positiva, la profesora valoró especialmente la posibilidades docentes que aporta el hecho de que, desde el momento en que se está programando la asignatura, el profesor pueda tener la seguridad de que los alumnos tendrán acceso al programa, bien sea en su hogar o en distintas aulas de informática.

La profesora de la asignatura había usado con anterioridad, dentro de su tarea investigadora, el programa *Macsyma*, en una versión privativa de la que se derivó Maxima. De hecho, en el departamento existe bibliografía relacionada con este programa que puede ser de gran utilidad para ésta y para otras asignaturas que en el futuro podrían utilizar Maxima para explotar algunos

---

<sup>5</sup> Guadalinux\_UCA es una adaptación del sistema operativo Guadalinux (basado en Debian GNU/Linux) elaborada por Oficina de Software Libre de la Universidad de Cádiz con el fin de facilitar el acercamiento al software libre a las personas que forman parte de nuestra Universidad. Incluye la mayor parte de los programas evaluados en la primera parte de este informe y los no incluidos son fácilmente instalables a través de Internet.

de los puntos para los que este programa se encuentra bien dotado. Concretamente, lo referente a las ecuaciones diferenciales y a la manipulación de expresiones trigonométricas, Maxima muestra aptitudes equivalentes y en algunos casos superiores a los programas más extendidos, como Mathematica.

#### 6.4. Matemáticas. Diplomatura en CC. Empresariales

Desde hace varios años, en la sección departamental de la Facultad de CC. Económicas y Empresariales del departamento de Matemáticas (una asignatura anual, de primer curso, con 9 créditos), se está llevando a cabo una experiencia docente basada en realizar el 100% de la docencia dentro de un aula dotada de ordenadores, para la asignatura de Matemáticas de la Diplomatura en CC. Empresariales. La experiencia, que está obteniendo unos excelentes resultados, se ha basado hasta ahora en el uso de Scientific Work Place, un programa (con licencia privativa) que consiste en un editor de textos basado en  $\text{\LaTeX}$  dentro del cual se integra mediante menús y barras de botones el motor matemático Maple (programa de tipo cálculo simbólico que también tiene licencia privativa).

Se trataba, por tanto, de evaluar hasta qué punto es posible la integración en esta experiencia de alguna herramienta con licencia libre que pueda complementarla y mejorar la calidad docente. Las características de la asignatura, con un alumnado de un perfil, en principio, menos científico que el de otras titulaciones en las que imparte docencia el departamento de Matemáticas, aconsejaba el uso de herramientas de cálculo simbólico y numérico con una interfaz de usuario tan intuitiva como fuese posible. Este motivo fue la razón de que se escogiera WIMS (descrito en la sección 5.2), la interfaz web para ejercicios matemáticos y de otros tipos. La experiencia se llevó a cabo en el segundo cuatrimestre del curso 2004/2005 en dos grupos, uno de los cuales utilizó también, ocasionalmente, wxMaxima (sección 3.5.1), la interfaz de menús y ventanas de diálogo que facilita el uso del programa Maxima.

Aun sin explotar nada más que un pequeño porcentaje de las posibilidades que ofrece WIMS (como la creación de ejercicios interactivos, de clases virtuales, etc.), el experimento fue un completo éxito en el sentido de que demostró que, además de las ventajas que aporta su licencia libre y que ya han sido detalladas en este informe, WIMS es una herramienta adecuada para su uso como apoyo al cálculo matemático y simbólico dentro de esta asignatura. El programa se complementó a la perfección con otras herramientas, como Scientific Work Place y wxMaxima (sección 3.5.1), y aportó detalles de gran valor docente que estaban ausentes en los mismos, como varios ejercicios relacionados con la animación de gráficas de funciones de una o dos variables.

### 7. Encuesta a alumnos

Como colofón a esta experiencia, se realizó una encuesta a los alumnos de uno de los dos cursos de la asignatura "Matemáticas" (Diplomatura en CC. Empresariales), que constaba de 25 alumnos. Los resultados se resumen en las gráficas de las figuras 12 y 13. Las tres primeras preguntas (figura 12) se centraban en averiguar el porcentaje de éstos que utilizaban el ordenador en su hogar y qué programas habían instalado en los mismos. La conclusión es que un alto porcentaje (el 92%) de los alumnos tiene acceso a esta herramienta en su domicilio. A la hora de preguntar qué programas de los utilizados en la asignatura (Scientific Work Place, WIMS, Maxima/wxmaxima) tenían instalados en estos ordenadores, la primera conclusión que se obtuvo es que el 40% de los alumnos tenía instalados varios de estos programas. El más instalado (aunque no especialmente más valorado, como se refleja en 13 (a)), fue Scientific Work Place. Esto, en cierto modo, era de esperar, pues es la herramienta que ha estado usándose con exclusividad en ésta durante los últimos años y que todavía se utilizan con exclusividad otros grupos de ésta. Por último, resulta especialmente llamativa (aunque también esperable) la gráfica 12 (c). Como se puede apreciar, en ella, a pesar de ser, con diferencia, Scientific Work Place el programa que más alumnos instalaron en sus hogares, ninguno de ellos reconocía tener una licencia que les

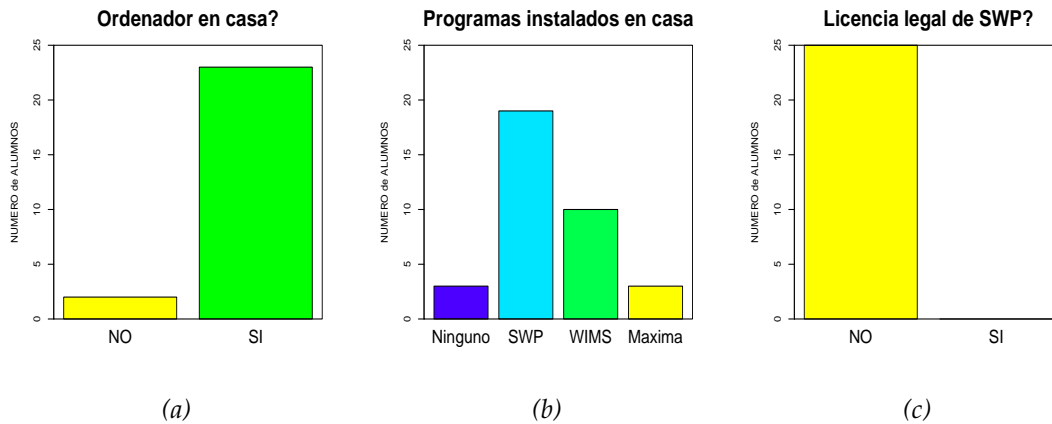


Figura 12: Encuesta sobre el uso de software por parte del alumno en su hogar

permitiera hacerlo. Esto corrobora la teoría de que el uso de software privativo en las aulas incita a los alumnos a la copia ilegal de estos programas.

La segunda parte de la encuesta (figura 12) se centraba en estudiar la impresión de los alumnos ante la experiencia. En primer lugar, se les pidió que evaluaran, por separado, la potencia y la facilidad de uso de los dos programas que se utilizaron con más asiduidad en las aulas, obteniendo resultados parejos. La figura 13 (a) muestra la media de las respuestas de los alumnos en cada caso<sup>6</sup>. Se puede concluir que los alumnos valoran a ambos programas (uno de ellos con licencia libre y otro con licencia privativa) como adecuados para la asignatura. En la última pregunta (figura 13 (b) se les pidió una evaluación global, de 0 a 4, del resultado de la experiencia docente en la que habían participado, obteniendo resultados muy positivos (una media de 3.84 sobre 4, con varianza 0.14).

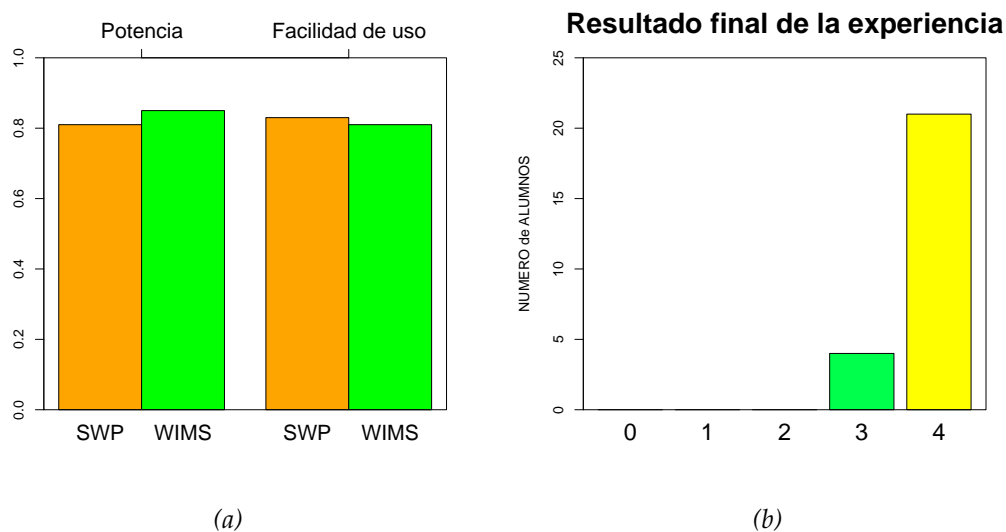


Figura 13: Evaluación de la experiencia docente por parte de los alumnos

<sup>6</sup>en todos los casos, la varianza es pequeña

## Referencias

- [1] Axiom book. <http://page.axiom-developer.org/zope/Plone/refs/books/axiom-book2.pdf>.
- [2] Axiom, web page. <http://page.axiom-developer.org/zope/mathaction>.
- [3] Creative commons sharealike 2.0 license. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>.
- [4] Debian octave group, web page. <http://www.octave.org/>.
- [5] Euler, web page. <http://euler.sourceforge.net/index.html>.
- [6] Ginac, web page. <http://www.gnu.org/software/emacs/emacs.html>.
- [7] gnuplot, web page. <http://www.gnuplot.info/>.
- [8] Hdf, web page. <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>.
- [9] Maxima, web page. <http://maxima.sourceforge.net>.
- [10] Nag (numerical algorithms group), web page. <http://www.nag.co.uk/>.
- [11] Octave, web page. <http://www.octave.org/>.
- [12] pari, web page. <http://www.math.u-psud.fr/~belabas/pari/>.
- [13] Plotmtv, web page. [http://csepl.phy.ornl.gov/cornell\\_proceedings/tutorials/Plotmtv/overview.html](http://csepl.phy.ornl.gov/cornell_proceedings/tutorials/Plotmtv/overview.html).
- [14] plplot, web page. <http://plplot.sourceforge.net>.
- [15] R, web page. <http://www.r-project.org/>.
- [16] Scilab, web page. <http://scilabsoft.inria.fr/>.
- [17] Servidor wims en extremadura. <http://wims.linex.org/>.
- [18] Superficie, web page. <http://superficie.sourceforge.net/>.
- [19] tela, web page. <http://www.ava.fmi.fi/prog/tela.html>.
- [20] Texmacs, web page. <http://www.texmacs.org/>.
- [21] Vtk, web page. <http://plplot.sourceforge.net>.
- [22] Wims, web page. <http://wims.unice.fr/>.
- [23] wxmaxima, web page. <http://wxmaxima.sourceforge.net>.
- [24] Yacas, web page. <http://yacas.sourceforge.net>.
- [25] Georges Khaznadar. Iniciación a wims. <http://libro-wims.software-libre.org/wims.pdf>.
- [26] M. Victoria RedondoÑeble and J. Rafael Rodríguez Galván. *Introducción a Maxima*. Universidad de Cádiz, 2005.