

Enseñanza de la matemática dominada por algoritmos versus una enseñanza más conceptual

Liliana Jiménez Montero *

17 de septiembre de 2006

Resumen

El propósito de este trabajo es reflexionar sobre el uso del computador como instrumento para la enseñanza aprendizaje de la matemática, y su influencia en la definición del currículo matemático requerido para formar las futuras generaciones. Algunos autores, como Bert Waits¹, estiman que todo contenido del currículo que tenga relación con los procesos de cálculo, será necesariamente influenciado por los aportes de la Tecnología Informática actual y futura, lo cual llevará a una necesaria redefinición de los énfasis en la enseñanza de algoritmos y conceptos. Y en consecuencia, debemos meditar acerca de qué es “aprender matemáticas” y cuál es la concepción epistemológica más adecuada.

1. Introducción

Frecuentemente escuchamos comentarios en los salones de clase, alrededor de un café, o leemos en los diarios, acerca de los diferentes problemas que aquejan el proceso de enseñanza aprendizaje de la matemática en nuestro país. Es común oír que las matemáticas entrañan una enorme dificultad a muchos estudiantes y cómo muchos de ellos han visto frustrados sus planes a causa de no poder aprobar algún curso de matemática. Se habla de la desmotivación de los estudiantes, de la fobia que sienten muchos por esta disciplina, de la falta de comprensión acerca de para qué hacen lo que se pide en sus clases de matemáticas.

Por otra parte, en el ambiente de los profesores de matemática, tanto en la secundaria como en la universidad, se dan quejas sobre las dificultades que muestran los estudiantes

*Programa de Maestría en Matemática Educativa, Universidad de Costa Rica, lilianaj@cariari.ucr.ac.cr

¹Citado más adelante.

para aprender matemáticas y las limitaciones que esto conlleva. Su enseñanza se desarrolla en medio de una crisis y que condiciona el nivel de exigencia a los problemas de promoción.

Lynn A. Steen² señala otro problema: “las matemáticas escolares tradicionales escogen muy pocos hilos conductores (ej: aritmética, geometría, álgebra) y los arreglan horizontalmente para formar el currículo: primero aritmética, luego álgebra básica, luego geometría, luego álgebra más avanzada y como si fuera el epítome del conocimiento matemático, cálculo. Esta aproximación a la educación matemática, en forma de bizcocho de capas, impide el desarrollo informal de la intuición a lo largo de las múltiples raíces de las matemáticas. Es más, refuerza la sentencia a diseñar cada curso básicamente para cumplir con los pre-requisitos del siguiente, haciendo que a la larga el aprendizaje de las matemáticas sea mayormente un ejercicio para demorar la gratificación. Para ayudar a que los estudiantes vean claramente su futuro matemático se hace necesario construir un currículo que tengan mayor continuidad vertical, que permitan dentro de la experiencia educativa de los niños conectar las raíces de las matemáticas con las ramas de las matemáticas.” (Steen, 2003)

Asimismo, las investigadoras, Beatriz Deiros, Regla Calderón y Lourdes Hernández³, en su trabajo de investigación acerca de la articulación entre la enseñanza media y la superior con estudiantes de ingeniería hacen la observación: “los problemas que más comúnmente se presentan son: la falta de dominio de los conceptos básicos y la acumulación formal de ellos, la falta de habilidades para el análisis y resolución de problemas, una deficiente capacidad de aplicación, y un insuficiente desarrollo de la capacidad creadora.” (Deiros, Calderón, Hernández, 2003)

A pesar de todos los estudios e investigaciones que se hayan podido realizar y se siguen realizando, no tenemos una respuesta clara sobre cómo lograr que nuestros estudiantes aprendan matemática de una “manera efectiva”. Esto es, cómo lograr que éstos, en situaciones ajenas a la clase de matemática, puedan identificar y aplicar los conceptos matemáticos que le fueron enseñados. Además de lograr desarrollar una actitud crítica, reflexiva y analítica ante los diferentes problemas que vaya a enfrentar en su vida profesional.

Se observa que la problemática en que está envuelta la enseñanza de la matemática, tiene muchas aristas, cada una de ellas bastante compleja, por ejemplo, el reiterado énfasis que se le da a la enseñanza de algoritmos, el aprendizaje memorístico de la matemática, entre otros ya mencionados arriba. Y a éstas, en los últimos años el desarrollo tecnológico ha agregado una nueva faceta. Ahora surgen preguntas sobre cómo cambiar el currículo en matemática, para que responda mejor a la nueva realidad que impone el uso de la Tecnología Informática, o sobre cómo sacar ventaja de los nuevos recursos para resolver los tradicionales problemas de la enseñanza de la matemática.

²Profesor de Matemáticas, Director de Investigación y Planeación en St. Olaf College, Northfield, Estados Unidos.

³Profesoras titulares Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, Cuba.

2. La Tecnología Informática y la lección de matemáticas

Cada vez se discute, en diversos ámbitos y con más creciente interés, el tema de la inserción de las aplicaciones multimedia en la educación⁴. En el caso particular del computador, se pueden encontrar una variedad de formas en que se está utilizando, entre ellas: como instrumento de comunicación, para investigar en Internet, cursos a distancia en Internet, video conferencias, para sustituir la manera tradicional de realizar las exposiciones en el aula, explotando los recursos gráficos y el manejo de texto, hojas de cálculo, etc.

Para la enseñanza de la matemáticas, entre los recursos más usados, se pueden distinguir el software de producción y el software de ejercitación y práctica (“Drill and Practice”)(Oteiza y Silva, 2001), entre otros. Con el primero se pretende favorecer la producción (como lo dice su nombre) por parte de los alumnos. Este remite a experiencias orientadas a producir, calcular, graficar, modelar, explorar, visualizar, clasificar, comparar, aplicar, simular o integrar la matemática a otras disciplinas. En el segundo caso se refiere a software donde, algunas veces se dan definiciones y algoritmos, pero primordialmente se le presenta al usuario listas de ejercicios o actividades ordenadas por su grado de dificultad, y el avance en la aplicación depende del éxito que tenga en la solución de estos ejercicios.

En este trabajo se hará referencia al uso de la Tecnología Informática en la lección de matemáticas, explotando los recursos que aporta el software de producción.

2.1. El uso de la Tecnología Informática como recurso metodológico.

Un aspecto que hace difícil la aplicación de metodologías que promuevan la interrelación del estudiante con los conceptos y sus relaciones en matemáticas es su carácter de abstracción. La naturaleza misma de los objetos matemáticos dificultan su manipulación y su relación con experiencias concretas.

El computador o las calculadoras programables y graficadoras, pueden resultar herramientas de gran provecho para enseñar, aprender y “hacer” matemáticas. Ofrecen imágenes visuales de ideas matemáticas, facilitan la organización y el análisis de datos y hacen gran cantidad de cálculos en forma eficiente. Pueden apoyar las investigaciones de los estudiantes en diferentes áreas de la matemática como: álgebra, geometría, probabilidad, análisis, etc.

De esta manera el computador con sus recursos aporta al estudiante herramientas que

⁴Un sistema multimedia es el que transmite una información, mediante imagen, sonido y texto de forma sincronizada, y que hace uso adecuado de la capacidad de usar los diferentes canales de comunicación.

le permitirán explorar en matemáticas: “Los nuevos recursos para operar visualmente con información han ampliado la capacidad para escudriñar algunas entidades matemáticas. A través de la exploración gráfica, los estudiantes pueden participar de actividades donde se investigan patrones y relaciones, o se verifican propiedades y teoremas, antes de llegar a su formulación en un contexto más formal” (Arce; Jiménez, 1994).

Paraphraseando a Steen, gracias a las gráficas del computador, mucho del trabajo de exploración de los matemáticos se guía ahora por lo que el ojo realmente puede ver, mientras que los “gigantes matemáticos del siglo diecinueve como Gauss y Poincaré tuvieron que depender de lo que veían con el ojo de su mente: “Ya veo” ha tenido siempre dos connotaciones diferentes: percibir con el ojo y entender con la mente. Durante siglos la mente ha dominado al ojo en la jerarquía de la práctica matemática; hoy en día el balance se ha restaurado en la medida en que los matemáticos encuentran nuevas formas de patrones, tanto con el ojo como con la mente.” (Steen, 2003)

2.2. ¿Cuál matemática se hace necesaria con el uso de la Tecnología Informática?

Al respecto Bert Waits⁵ dice, “la historia nos demuestra que cualquier contenido matemático que tenga que ver con el cómputo, va a cambiar por efecto de la tecnología. La lección más reciente de la historia tiene que ver con los efectos de la calculadora científica (...). En muy pocos años, la calculadora científica convirtió en obsoletos algunos contenidos matemáticos que yo enseñaba en la Universidad. No entender por qué paso lo que pasó es una locura. Lo que sucedió simplemente fue que la calculadora científica era una herramienta mejor, una mejor manera para calcular.”

Continua exponiendo: “la misma situación se va a presentar muy pronto con un cuerpo aún mayor de la matemática tradicional. Los *Computer Algebra Systems* (CAS) cambiarán radicalmente, la forma en que ahora conocemos los contenidos del álgebra y el cálculo. Nos encontramos en la fase inicial de ese cambio. En 20 o 25 años, muchas de las manipulaciones que enseñamos hoy con lápiz y papel, serán vistas por la mayoría de las personas tan obsoletas como la regla de cálculo.” (Bert Waits citado por Herrera⁶, 2003)

Según las apreciaciones de Waits, la manera en que se enseñan actualmente los temas del cálculo diferencial e integral, por ejemplo, deberán cambiar como consecuencia del uso cada vez más frecuente de los CAS. Naturalmente este cambio no supone el abandono

⁵Profesor emérito de matemáticas de la Universidad Estatal de Ohio, miembro de la Junta Directiva del Consejo de Profesores de Matemáticas, consultor de la firma Texas Instrument, autor de libros de texto para la editorial Wesley/Prentice Hall. En 1988 fundó conjuntamente con Frank Demana T3 (Teachers that Teach with Technology), sitio de entrenamiento en el uso de calculadoras gráficas en el aula, que se convirtió en el programa de capacitación profesional más grande del mundo.

⁶Teresa Herrera es especialista en recursos matemáticos del equipo de Recursos Instruccionales en ENC. Ha trabajado por 15 años como profesora en niveles de enseñanza Básica y Media

de la enseñanza de estos temas, sino más bien, la búsqueda de un nuevo equilibrio entre el esfuerzo que se aplique a la enseñanza de los algoritmos de cómputo y los necesarios énfasis que se deberá dar a los conceptos y aplicaciones.

Asimismo, algo que hoy día recibe poca atención y la Tecnología Informática harán cada vez más necesario, es la habilidad de hacer cálculo mental y estimaciones. Como señala Waits: “creo también que la enseñanza (y el poner a prueba) las habilidades mentales para hacer cálculos, es hoy más importante que nunca. La tecnología ofrece hoy una herramienta cómoda para calcular, pero debe emplearse correctamente. Por ejemplo, si un estudiante usa la calculadora para saber cuál es el 14.5 % de \$1500, y la respuesta que encuentra es \$21750, ¡él debe darse cuenta de que algo está muy mal! Darse cuenta de esta situación proviene de la habilidad mental para calcular así como la habilidad para estimar (la respuesta debe ser ser menos de 20 % de 1500, o 300 calculado mentalmente).” (Bert Waits citado por Herrera, 2003)

Otro aspecto a considerar es que, “hoy no es posible aprender toda la información de la que se dispone y la memorización no es la estrategia. Otras habilidades resultan cruciales: capacidad para buscar información, para enjuiciarla críticamente, para aplicarla en la resolución de problemas, entre otras posibles.” (Deiros, Calderón, Hernández, 2003)

Además, Steen considera que “desde el punto de vista del común de las personas, las matemáticas, son una disciplina estática basada en fórmulas que se enseñan en el colegio en las clases de aritmética, geometría, álgebra, y cálculo. Pero, a escondidas de la vista del público, las matemáticas continúan creciendo a un ritmo rápido, expandiéndose a nuevos campos y produciendo nuevas aplicaciones. La orientación de este crecimiento no es la realización de cálculos o el planteamiento de fórmulas sino una búsqueda abierta, ilimitada, de patrones.” (Steen, 2003)

De lo expuesto pareciera que la enseñanza de la matemática con el uso de las computadoras, además de retomar aquellos problemas que han sido tradicionales, requiere de un énfasis más conceptual. Esto lleva a la búsqueda de actividades que logren desarrollar en los estudiantes habilidades como: el empleo riguroso y significativo del lenguaje algebraico, capacidad para reconocer hipótesis y consecuencias en los resultados de la matemática, capacidad para discriminar entre los resultados posibles y no posibles, capacidad para leer, entender y transformar modelos matemáticos, entre otros.

Por otra parte, el empleo del computador, como recurso metodológico en la enseñanza de la matemática, no supone la eliminación del trabajo con lápiz y papel. El secreto está en buscar un equilibrio apropiado. Waits opina: “por ejemplo, antes de empezar a utilizar, en la escuela Básica y Media, computadores de mano para graficar, los estudiantes deberán pasar un tiempo considerable graficando con lápiz y papel y entendiendo bien este proceso. Del mismo modo, antes de que los estudiantes hagan uso de un CAS deben tener alguna comprensión de manipulaciones algebraicas simples hechas con lápiz y papel. Esto es bastante diferente de solicitar manipulaciones hechas en papel y lápiz durante todo el bachillerato y todo el programa de cálculo” (Bert Waits citado por Herrera, 2003), como

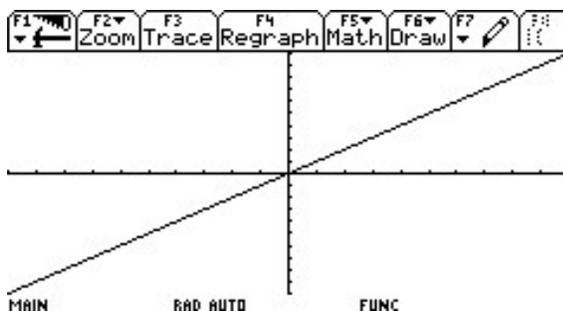
podría estarse dando en nuestro programa de secundaria y cursos universitarios.

2.3. Los retos del empleo de la Tecnología Informática

El uso de la Tecnología Informática conlleva el reto de formar jóvenes que puedan utilizar la matemática para entender, describir y resolver problemas de sus áreas de estudio, sin ocuparse mucho de enseñar algoritmos de cálculo, dado que éstos son herramientas que provee el computador.

Por otra parte, desde una perspectiva metodológica se enfrenta el desafío de cómo emplear el nuevo potencial de cálculo numérico y simbólico y la capacidad de manipulación de gráficos y textos, que aportan las computadoras, para contribuir a mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje de la matemática.

En tercer lugar, el alto grado de desarrollo del software para trabajar en matemáticas y la facilidad para obtener resultados, enfrenta a sus usuarios con el riesgo de emplear mal la herramienta, si no se dispone de un dominio teórico de la matemática que conduce a esos resultados. Por ejemplo, el prof. Edison De Faria⁷ ilustra este problema con la siguiente situación: utilizando la calculadora Voyage 200 para graficar la función $y = e^{\ln(x)}$, en el intervalo $[-10, 10]$, se obtiene



¿Acaso $e^{\ln(x)} = x$ para todo $x \in \mathbb{R}$? Otro resultado de esta misma calculadora que puede inducir a un grave error conceptual es que al escribir 0^0 da 0 como respuesta.

Los ejemplos citados, entre otros, muestran el riesgo de que el computador domine al usuario, si éste no tiene un buen conocimiento de los conceptos que maneja. Se exige así, de la enseñanza de la matemática, una mejor formación para los profesionales que usarán estos recursos, en la que se propicie el desarrollo de la capacidad crítica para reconocer la consistencia de los resultados y decidir si pueden ser razonablemente esperados.

Finalmente, con el uso de la Tecnología Informática se hace necesario considerar y lograr consenso sobre qué es lo que se entiende por aprender matemáticas.

⁷Profesor Catedrático de la Escuela de Matemática Universidad de Costa Rica.

3. ¿Qué es aprender matemática?

Aunque los especialistas en didáctica de la matemática que se citan enseguida no desarrollan su trabajo alrededor del tema de la incorporación de la Tecnología Informática en el proceso de enseñanza aprendizaje de la matemática, su posición en cuanto a lo que significa aprender matemáticas y el trabajo que involucra enseñarlas, responde a una concepción apropiada acerca de lo que es “aprender y hacer matemáticas” en el contexto que interesa.

Para Brousseau⁸, la didáctica de la matemática no consiste solo en ofrecer un modelo para la enseñanza, sino en propiciar polémica que permita poner a prueba cualquier situación de enseñanza y de corregir y mejorar las que se han producido, formulando propuestas acerca de lo que sucede. Inicia el estudio de “... la didáctica de las matemáticas como campo científico con un doble interés: analizar los procesos a que da lugar la comunicación del saber matemático escolar e indagar las mejores condiciones de su realización” (Ávila, 2001, pág 2), abordando desde sus inicios, “tanto los comportamientos cognitivos de los alumnos, como los tipos de situaciones que se ponen en marcha para enseñarlos y los fenómenos a los cuáles la comunicación del saber da lugar.” (Brousseau citado por Ávila, 2001, pág 2).

Bajo la concepción de Brousseau, se debe buscar que el trabajo del alumno, al menos en parte, reproduzca las características del trabajo científico; esto para garantizar una construcción efectiva del conocimiento. Sin embargo, no se trata de caer en el espejismo del *redescubrimiento*. El trabajo de la didáctica consiste al contrario, en construir situaciones artificiales dentro de un marco de restricciones didácticas bien definidas. Estas situaciones deben permitir a los alumnos apoderarse de un problema “adecuado” con miras a provocar la necesidad de construir un conocimiento nuevo. De esta manera, el trabajo del profesor no puede limitarse a la comunicación de conocimientos, sino que debe preocuparse de entregar a sus estudiantes buenos problemas. Estos problemas deben lograr despertar en el alumno una voluntad y un compromiso para que a través del trabajo que se genera con ellos pueda adquirir el conocimiento elegido en forma independiente.

Brousseau considera que saber matemáticas, no es solamente aprender definiciones y teoremas, para reconocer el momento de utilizarlos y aplicarlos; “sabemos que hacer matemáticas implica ocuparse de problemas. Solo se hacen matemáticas cuando nos ocupamos de problemas, pero se olvida a veces que resolver un problema no es más que una parte del trabajo; encontrar buenas preguntas es tan importante como encontrar soluciones. Una buena reproducción por el alumno de una actividad científica exigiría que

⁸En los años sesenta se inicia en Francia un movimiento a raíz del interés por el estudio sistemático de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. En este movimiento, se destaca Guy Brousseau, quien en 1972 publica “*Procesos de Matemización*” (Ávila, 2001, pág 3). En estas reflexiones la intención de Brousseau era precisar el proceso pedagógico necesario para obtener un buen conocimiento de la Matemática, fue así delineando los primeros pasos de su teoría que le permitirían explicar y conocer mejor las condiciones para la producción del conocimiento matemático.

intervenga, que formule, que pruebe, que construya modelos, lenguajes, conceptos, teorías, que los intercambie con otros, que reconozca los que están conformes con la cultura, que tome los que le son útiles, etc.” (Brousseau, 1986, pág 6)

No ajena a la concepción de Brousseau, está la idea de Régine Douady⁹ acerca de qué significa saber matemáticas, qué significa enseñarlas y qué significa aprenderlas. Para ella saber matemáticas implica dos aspectos. Por un lado, se refiere a la capacidad de manipular correctamente algunas nociones y teoremas matemáticos para resolver problemas e interpretar nuevas situaciones. En este momento, las nociones matemáticas adquieren un carácter de herramienta, y por esto la elección que haga el docente de las situaciones o problemas para estudiarlas es de vital importancia ya que en este contexto es donde el aprendiz les da *significado*. Por otro lado, implica identificar las nociones y los teoremas como elementos de un todo reconocido social y científicamente.

Así, para esta didacta, *enseñar* matemáticas implica crear condiciones adecuadas que producirán la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes. Para el estudiante, *aprender* matemáticas, significa involucrarse en una actividad intelectual cuya consecuencia final es la disponibilidad de un conocimiento con su doble estatus de herramienta y de objeto. (Douady, 1995, pág 63-64)

La concepción epistemológica que tenga el docente de matemática determinará el papel que juegue el aprendizaje de esta disciplina en el proceso de formación de sus estudiantes. Un docente que considere la enseñanza de la matemática, como la transmisión de un conjunto de algoritmos o reglas, desarrollará en el estudiante la idea de que hacer o aplicar la matemática es un ejercicio repetitivo, sin ninguna creatividad y poca utilidad práctica. En cambio un docente que combine la enseñanza teórica con experiencias propias del trabajo de investigación matemática, va a estimular en el estudiante el desarrollo de su capacidad de análisis, la habilidad en la resolución de problemas, su capacidad creadora, destrezas necesarias para el uso de la matemática con computadoras.

Tanto la “Teoría de Las Situaciones” de Brousseau como el marco donde se desenvuelve el trabajo de Douady, se desarrollan en un contexto más amplio de lo expuesto. Aquí, interesa resaltar la concepción de ambos acerca de lo que es aprender matemáticas y adoptar su posición para resolver el dilema sobre cuál es la matemática y como debe enseñarse, cuando se supone la disponibilidad de computadores como herramienta en las aplicaciones de la matemática.

4. Conclusión

Se ha visto que, en el contexto del trabajo de matemáticas con computadoras, es previsible que muchos procesos algorítmicos de cálculo, que en la actualidad demandan

⁹Universidad de París VII

mucho tiempo y esfuerzo, lleguen a ser obsoletos. Sin embargo, de acuerdo a la concepción aceptada acerca de lo que es aprender matemáticas, apoyada en las ideas de Brousseau y Douady, seguirá siendo imprescindible a través del trabajo en matemáticas, estimular que el estudiante desarrolle las estructuras mentales necesarias para el pensamiento abstracto y riguroso. De la misma manera, es de vital importancia el lograr que el estudiante se apropie de los significados del lenguaje matemático, que reconozca el contenido de la simbología empleada y pueda descubrir las potencialidades prácticas de la matemática.

Asimismo, se debe buscar inculcar en el estudiante hábitos de buen orden, precisión y claridad en su manera de hacer y escribir la matemática.

Adicionalmente, de lo expuesto en este trabajo, se deja planteada la interrogante: ¿Para lograr los objetivos propuestos conviene, como forma de aproximarnos a la matemática, retomar con más énfasis los procesos de reconstrucción y redescubrimiento de la teoría matemática y con ello ejercitar la habilidad de elaborar demostraciones?

Referencias

- [1] Arce, C; Jiménez, L. (1994) *Gráficos por Computadora: un valioso recurso para el aprendizaje de la matemática*. Ponencia Octava Reunión Centroamericana y del Caribe Sobre Formación de Profesores e Investigación Educativa.
- [2] Ávila, A. (2001) “*El maestro y el Contrato en la teoría brousseauiana*”. En Educación Matemática. Vol 13. N3. Editorial Iberoamérica, México. Tomado de <http://perl.ajusco.upn.mx/piem/publicaas01.html>; 20 de setiembre, 2003, 9 p.m.
- [3] Brousseau, G. (1986) “Fundamentos y métodos de la Didáctica de las Matemáticas”. En *Recherches en Didactique des Mathematiques*, Vol 7, N2, pág. 33 -115. Traducción al español por Centeno, J.; Melendo, B.; Murillo, R.
- [4] Castro, F. (1988) “*Creatividad y Computadoras*”. Revista Paradigma, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Vol XIX, N1, Maturín. <http://cidipmar.fundacite.org.gov.ve/Doc/Paradigma981/Art.htm>; 9 de agosto de 2004, 3 p.m.
- [5] De Faria, E. (2002). Informe de Investigación. Publicado en el Acta Latinoamericana de Matemática Educativa, Vol 15, Tomo 2. Grupo Editorial Iberoamérica, México, págs 849-854.
- [6] Deiros, B.; Calderón, R.; Hernández, L. (2003) *Apuntes sobre didáctica de la matemática para ingeniería*. <http://www.monografias.com/trabajos11/monorrr/monogrr.shtml>; 10 de agosto de 2004, 9 p.m.

- [7] Douady, R. (1995) “*La ingeniería didáctica y la evolución de su relación con el conocimiento*”. En *Ingeniería Didáctica en Educación Matemática. Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas*. Gómez Pedro, editor. Grupo Editorial Iberoamérica, Bogotá.
- [8] Herrera, T. “Entrevista con Bert Waits. *Computadores de Bolsillo: Ingrediente Esencial en la Enseñanza y el Aprendizaje de Matemáticas*”. Traducción al español realizada por EDUTEKA de la entrevista original. <http://www.eduteka.com/HandHelds1.php>; 3 de julio de 2004, 10 a.m.
- [9] Oteiza, F.; Silva, J. y Equipo Comenius/USACH (2001) “*Computadores y Comunicaciones en el Currículo Matemático. Aplicaciones a la Enseñanza Secundaria*.” Trabajo presentado en la V Reunión de Didáctica Matemática del Cono Sur, 10 al 14 de enero 2000, Universidad Santiago de Chile. <http://www.eduteka.org/pdfdir/SilviaMatematicas.pdf>; 3 de julio de 2004, 10 a.m.
- [10] Steen, L. (2003) *Sobre los Hombros de Gigantes. Patronos*. Traducción realizada por Eduteka del prefacio del libro “On the Shoulders of Giants” <http://www.eduteka.org/profeinvitado.php3?ProfInvID=0019>; 3 de julio de 2004, 10 a.m.