

INVESTIGACION Y DESARROLLO DE SOFTWARE EDUCATIVO
UN CASO: sistema de Ejercitación y práctica para enseñar a resolver problemas de
Cálculo de áreas de figuras geométricas planas

Otto Quintero R.
Hernán Mera B.

RESUMEN

El propósito de este artículo es compartir la experiencia obtenida en el proceso de investigación y desarrollo de software educativo seguido en el Sena, tomando como caso la producción de un sistema del tipo de ejercitación y práctica para apoyar el aprendizaje de resolución de problemas de cálculo de áreas de figuras geométricas planas.

Se toma como hilo conductor la secuencia de fases del "Ciclo para Desarrollo de Apoyos Computacionales al Proceso de Enseñanza-Aprendizaje" [1], el cual guió el trabajo. Se presenta el marco conceptual que orientó el análisis de necesidades, desatancando la forma como se llevó a la práctica. Se define el problema educativo a resolver y se precisan las razones por las cuales se consideró adecuada la selección de un material del tipo "ejercitación y práctica". Luego se presentan las ideas centrales del proceso de diseño educativo y computacional del software, así como las experiencias más sobresalientes en su desarrollo. También se documenta la forma como se llevó a cabo la evaluación por expertos y como se está llevando a cabo la evaluación formativa.

Finalmente, se presentan conclusiones y sugerencias obtenidas desde la práctica, las cuales podrían ser de interés para quienes se inician o se interesan en procesos semejantes.

INTRODUCCION

Una de las finalidades últimas de la educación es lograr que los alumnos desarrollen capacidades para resolver problemas y en particular para la transferencia del aprendizaje.

Realizar una transferencia del aprendizaje implica, por parte del aprendiz, resolver la cuestión acerca de lo que debe ser aplicado (información, reglas, principios, procedimientos, modelos de razonamiento, etc.) y a qué debe aplicarse (situación o problema); también implica estudiar la vieja situación y la nueva, correlacionar entre sí los problemas resueltos y el que se va a resolver, identificando lo que exista de común en ellos. Por otra parte, exige adecuada orientación didáctica por parte del docente, así como la correcta selección y uso pertinente del medio didáctico. En este sentido, el apoyo

computacional es una interesante alternativa

MARCO DE REFERENCIA

En diferentes especialidades y oficios para las cuales se imparte formación profesional en el Sena se han detectado, desde tiempo atrás, problemas de aprendizaje en la adquisición y sobre todo en la aplicación de conocimientos básicos de matemáticas; en particular, se ha establecido la dificultad que tienen los alumnos en transferir dichos conocimientos a dominios del área tecnológica. Por ejemplo, se espera que en nuestros contextos, los conocimientos y los modelos de razonamiento adquiridos o construidos en el aprendizaje de la matemática básica sean utilizados eficazmente por los alumnos a la hora de trabajar en dibujo técnico, en la adaptación de ciertos procesos tecnológicos en especialidades como la agro-industrial, metalmecánica, eléctrica, o construcción. Al menos se aspira que dichos conocimientos, estrategias y modelos de razonamiento favorezcan el logro de los aprendizajes subsiguientes, referidos a la tecnología objeto de la formación profesional que se esté impartiendo en ese momento.

La transferencia del aprendizaje es un problema bastante complejo que aún la investigación en ciencia cognitiva no ha logrado dilucidar plenamente. Sin embargo, con los resultados que hasta ahora se tienen, es razonable pensar en mejorar muchos aspectos relacionados con su tratamiento didáctico. Así, por ejemplo, varios investigadores [1] sostienen que, en general, la clave de la transferencia es la autodirección. Los alumnos deben entonces desarrollar no sólo habilidades particulares, sino también adquirir métodos generales de autocontrol y modelos para selección de estrategias que faciliten la transferencia.

ANALISIS DEL PROBLEMA

Puesto que no es posible ni deseable abordar y resolver el problema global de la transferencia del aprendizaje (tanto vertical como horizontal), al tiempo que se lleva a cabo una experiencia piloto de investigación y desarrollo de software educativo para el área de conocimientos básicos en matemáticas, hubo necesidad de reducir y delimitar metodológicamente el problema, y a su vez, priorizar sus problemas susceptibles de resolver con apoyo del computador. Esto se hizo siguiendo las sugerencias dadas para la fase de Análisis de Necesidades Educativas en el "Ciclo para Desarrollo de Apoyos Computacionales al Proceso de Enseñanza-Aprendizaje" [1].

Consideraciones metodológicas

Dado que un análisis causal de todo el fenómeno desborda las pretensiones de este estudio, la reducción metodológica mencionada nos llevó a considerar como elemento básico de análisis el proceso de enseñanza-aprendizaje de salón de clase y su ambiente educativo. En este sentido, se tomaron en cuenta las ideas de Bloom respecto a las variables relevantes

que caracterizan el proceso, como se ilustra en la figura 1.

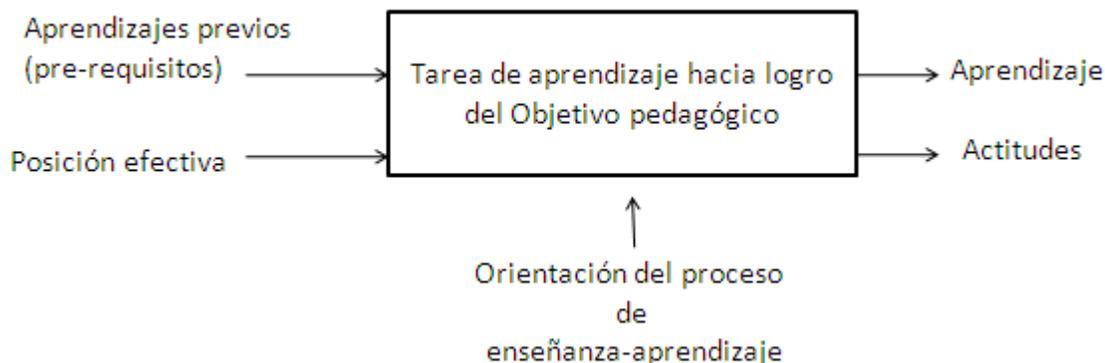


Figura 1. Variables que afectan el proceso de aprendizaje (Bloom, 1977)

Por otra parte, en lo que respecta a la resolución de problemas, resultados de investigación en psicología del aprendizaje [6,7] muestran la importancia de tomar en cuenta los principios aplicables al desarrollo de : 1) habilidades intelectuales (aplicación de reglas, principios y conceptos), 2) esquemas pertenecientes a un dominio limitado (grupos integrados o bloques organizados e interrelacionados de conocimientos) y 3) procesos y modelos mentales para decidir qué hacer al aprender y cuándo hacerlo. A estos procesos y modelos mentales de manejo de sí mismo que modifican y regulan ciertos procesos internos de control directivo ("maneras de usar la cabeza") relacionados con el atender, pensar y aprender, Gagné les denomina estrategias cognitivas.

En el contexto anterior se le concede especial importancia a la representación interna (espacio del problema) que haga el alumno de la situación problema, la cual incluye identificar el <estado inicial>, el <estado final o estado meta> y los <estados intermedios del problema>; también se da gran importancia a la búsqueda de la solución mediante planificación y el uso de estrategias eficaces. Se enfatiza en la planificación y evaluación cualitativa de soluciones potenciales del problema antes de proceder a la realización de cálculos, así como en la adecuada orientación didáctica que haga el docente.

Como se sabe, en el estudio de resolución de problemas, las estrategias generales, planes u operadores [5] se dividen en algoritmos y heurísticas. La diferencia entre los dos enfoques está en que la estrategia garantice (algoritmo) o no (heurísticas) la resolución del problema. En este caso se adoptó el punto de vista de Pola [6], quien sugiere una estrategia general de resolución de problemas matemáticos dividida en cuatro fases: comprender el problema, concebir un plan, ejecutar el plan concebido y evaluar el proceso de solución (mirar hacia atrás, verificar los resultados). Cada una de estas fases está apoyada en un conjunto de heurísticas (reglas prácticas de acción, criterios, procedimientos, etc.) que provocan, orientan y actualizan en la estructura cognitiva del alumno las operaciones pertinentes durante el proceso de búsqueda que está implicado en la resolución del problema.

Igualmente se utilizan algunas ideas de Nebel y Simón [4], Sternberg [6]; Mayer [1], así como de Landa [2] respecto a procesos algorítmicos, procesos heurísticos y la enseñanza-aprendizaje de modelos de pensamiento lo suficientemente generales, que sirvan no para resolver problemas aislados, sino masivos, esto es, para resolver los pertenecientes a determinadas clases de problemas.

Igualmente, pero articulado con lo anterior, se toman como referencia los siguientes conceptos básicos trabajados por Piaget y colaboradores [7] en la formulación de su teoría sobre el desarrollo cognoscitivo: la naturaleza de la experiencia en el conocimiento lógico-matemático, el mecanismo asimilación- acomodación y los procesos de equilibrarían en el restablecimiento del equilibrio dinámico entre asimilación y acomodación. Así, al colocar al alumno en situación de contradicción cognitiva (conflicto) ante la necesidad de comprensión y resolución de un problema dado -en este caso geométrico- lo lleva a un estado de desequilibrio cognitivo en sus esquemas de asimilación, los cuales desencadenan a su vez procesos de equilibrarían necesarios para la reorganización o construcción de nuevos esquemas.

ANALISIS Y FORMULACION DEL PROBLEMA EDUCATIVO A RESOLVER

Se toma como línea directriz de trabajo la propuesta metodológica de Galvis [1] para el desarrollo de apoyos computacionales al proceso de enseñanza-aprendizaje. Una encuesta permitió obtener y evaluar la información de interés para el análisis y formulación del problema en consideración. De acuerdo con los índices de promoción de alumnos de la Regional del Valle, y según las características didácticas de los materiales y medios usados por los docentes (cartillas, guías de aprendizaje, ayudas didácticas, etc.) se identificaron cuáles de los objetivos de enseñanza-aprendizaje eran problemáticos de lograr (más del 50% de los alumnos tenían problemas de rendimiento), obteniéndose un listado de 19. Puesto que era de interés determinar hasta qué punto dichos objetivos era percibido como problemáticos por alumnos y docentes, se solicitó a cinco docentes y a una muestra de doce alumnos valorar tal aspecto.

Siguiendo las ideas de Bloom [2] interesaba saber qué causas referidas a los objetivos, y contenidos subyacentes, identificados como problemáticos, estaban incidiendo en el bajo rendimiento. Las dos variables independientes (conjuntamente con sus respectivas sus variables): características del alumno, características del ambiente educativo, se tomaron en cuenta para orientar el análisis de necesidades. Para cada una se definieron, respectivamente, las siguientes sus variables:

PARA LAS * Aprendizajes previos (prerrequisitos para la tarea de
CARACTERISTICAS DEL * aprendizaje en cuestión).
ALUMNO

* Características afectivas hacia la tarea.

PARA LAS * Significativita de lo que se aprende;
DEL CARACTERISTICAS
EDUCATIVO AMBIENTE

* Claridad y secuencia del material textual, objetivos, explicaciones

* Coherencia entre objetivos y procedimiento de evaluación

El ambiente educativo se define como el conjunto de elementos, circunstancias, condiciones externas y recursos constituyentes del contexto más reducido en que tiene lugar el proceso de enseñanza-aprendizaje

* Adecuación de las estrategias didácticas (enfoque, eventos y medios didácticos, procedimientos, técnicas grupales y/o El ambiente educativo se individuales) más frecuentes utilizadas por los docentes, define como el conjunto de referidas a los objetivos identificados como problemáticos. elementos, circunstancias, **Sobre este aspecto se consideraron:**

- Actividades remediales (procedimientos correctivos), de mejora y complementación, en términos de sugerencias que se le hacen al alumno sobre lo que debe hacer, en tiempo y práctica adicional.

- El material estímulo (presentación al alumno del material que tiene lugar el proceso organizado de tal manera que se destacan las característica-enseñanza-aprendizaje; cas esenciales que deben almacenarse y procesarse en la memoria a corto plazo) y, en general, los signos y códigos utilizados para la presentación del material.

- Sistema de ejercitación y comprobación (pruebas formativas o sumativa que incluyan generalmente preguntas e indicaciones).

Los resultados de este análisis se presentan en un documento [4] donde, como causas más comunes que dificultan el logro de los objetivos considerados problemáticos se establece que en ellos predominan dificultades relativas al sistema de evaluación formativa (falta de ejercitación y práctica) y al análisis e interpretación del contenido y de las situaciones

problemáticas que se proponen para resolver. En muy pocos de los objetivos se detectan problemas en los aprendizajes previos y posición afectiva frente a la tarea de aprendizaje en cuestión, lo cual no significa que se puede descuidar este aspecto.

Con base en lo anterior, el grupo de diseño decidió que un apoyo computacional del tipo de ejercitación y práctica con reorientación que enfatice en las heurísticas de solución de problemas, podría complementar un material escrito que contenga variedad y cantidad de ejercicios de sobre-aprendizaje, posibilitando, en estas condiciones, la transferencia del aprendizaje.

DISEÑO EDUCATIVO Y COMPUTACIONAL

Se define como x(objetivo terminal) del apoyo el que los alumnos deberán ser capaces - una vez usado el apoyo computarizado- de "calcular áreas de figuras geométricas planas mediante el uso de una heurística para solución de problemas, recurriendo al uso de una calculadora incorporada y al de un ayuda-memoria sobre fórmulas cuando sea necesario".

Para favorecer que el aprendizaje de solución de problemas de cálculo de áreas en figuras geométricas planas contribuya al desarrollo de modelos y capacidades generales para solución de problemas, se optó por incluir, dentro del software, la X(estrategia didáctica) que se basa en la propuesta de Pola ya mencionada, denominada Método General de Solución, de cuatro fases.

X(Definición funcional del material)

Como respuesta a los requerimientos, objetivos y estrategia definida, se estableció que el apoyo computarizado debía realizar las siguientes funciones básicas:

- Promover el desarrollo, construcción o reorganización en los alumnos-usuarios, de modelos internos o esquemas generales de razonamiento en la solución de problemas geométricos con aplicación a situaciones que son significantes para ellos.
- Activar procesos cognitivos específicos pertinentes y necesarios para el procesamiento de la información según la tarea de aprendizaje, tales como:
 - . Codificación semántica
 - . Establecimiento de pistas para la búsqueda y recuperación de la información
 - . Actividad y desempeño
 - . Retroalimentación.

Dado que el apoyo computacional tendría dos tipos de usuarios, los docentes y los alumnos, para cada uno de ellos se establecieron las funciones de apoyo correspondientes, a saber:

Funciones de apoyo al docente

El material le permite al docente :

- Crear nuevos problemas que el alumno debe resolver, o modificar los existentes.
- Llevar estadísticas asociadas con cada problema, informando sobre: número de veces que ha sido seleccionado y el porcentaje de aciertos.

Funciones de apoyo al alumno

El material le permite al alumno:

- Obtener ayuda o instrucciones en línea, cuando las solicite.
- Abandonar y reiniciar en el punto donde iba, pues lleva historial del desempeño del alumno.
- Hacer uso o recuperar habilidades pre-requeridas, dando referencias para obtener la información necesaria.
- Interactuar con problemas, ordenados escalonadamente, respecto al grado de dificultad.
- Interactuar con variedad y cantidad de ejercicios para consolidar el aprendizaje, evocar, transferir, generalizar y evaluar el desempeño.
- Obtener retroalimentación diferencial, en función del desempeño.
- Recurrir a heurísticas y orientaciones respecto a un método general para resolver problemas.

X(Diseño de la interfaz)

Las anteriores especificaciones sirvieron como fundamento para el diseño de una interfaz (zona de comunicación) entre usuario y programa, para cada uno de los usuarios.

Para el usuario-profesor el sistema le ofrece un editor de problemas que incluye una ventana de trabajo y dos de comunicación y control en las que tiene a disposición los comandos de edición. Para el usuario-alumno el sistema le ofrece un ambiente de ejercitación que incluye una ventana para presentación del problema, otra para trabajo (escritorio con calculadora y formulario) y otra de control, en la que tiene también a disposición ayudas metodológicas.

X(Ambiente de aprendizaje)

El usuario se enfrenta a situaciones del tipo : El corte de una pieza está representado en la figura. Calcule su área si las medidas están dadas en cts.

Para resolver el problema, puede hacer uso de una ayuda metodológica (heurística), de una calculadora y de una ayuda-memoria sobre las fórmulas de áreas de figuras geométricas planas.

Se determinó que para cada problema era necesario guardar los datos numéricos y las posibles soluciones en un archivo común a todos los problemas donde cada registro contiene los datos de una situación problemática. Además, se decidió crear para cada problema un archivo gráfico que contiene el enunciado y el dibujo tal como se mostrará en pantalla al alumno.

Puesto que para efectuar la retroalimentación a medida que el alumno resuelve el problema es necesario conocer las medidas reales, y las coordenadas en el dibujo de los puntos que forman cada figura en que se puede subdividir el área sombreada, se crearon funciones en el editor de problemas que permiten capturar estos datos. Con ellos, y confrontando con los valores del área de cada una de estas figuras los resultados de cada su expresión que formula el alumno a medida que se evalúa, es posible pintar la región a la que hace referencia el alumno.

DESARROLLO DEL MATERIAL

Se escogió el ambiente Turbo-Pascal para hacer la programación, por las facilidades que da y por la modularidad y claridad del lenguaje Pascal; sin embargo, la versión 3.0 de Turbo-Pascal disponible al inicio del proyecto no tenía un buen conjunto de rutinas gráficas y se decidió utilizar el paquete Dóralo, para realizar los dibujos y enunciados de presentación de cada problema, ya que existía en el mercado una herramienta (Turbo-Halo), consistente en un paquete de rutinas compatibles con Dóralo, que permiten el uso desde Turbo-Pascal de todos los gráficos hechos con aquel.

Esto tuvo sus inconvenientes, puesto que Turbo-Halo es un programa que debe permanecer en memoria antes de ejecutar el programa en Pascal, aumentando los requerimientos de memoria y su uso indebido puede bloquear el sistema. Con la aparición de la versión 4.0 de Turbo Pascal, que incluye un conjunto bastante completo de rutinas gráficas, y haciendo una rutina para leer los archivos gráficos creados con Dóralo, se está preparando una nueva versión del programa, que elimina el programa intercomunicador Turbo-Halo, produciendo un programa más rápido, con un código más legible y con menos requerimientos de memoria.

El módulo del profesor maneja el archivo de datos numéricos y soluciones; para los archivos gráficos el profesor usa el paquete graficado Dóralo, dibujando y creando un archivo por problema. Debido a la resolución de la tarjeta CGA en modo 320x200 y 4 colores, en el cual el texto es muy grande (sólo permite 40 caracteres por línea) y cada uno ocupa el mismo espacio ya se la "i" o la "m" (ausencia de espaciado proporcional), además de que no tiene las tildes ni la ñ del español, fué necesario crear un editor de caracteres para Dóralo que permitiera lograr estos efectos.

Para evaluar las expresiones aritméticas escritas por el alumno se las convierte de su forma

"inris" normal <operando><operador><operando> a la forma polaca "sufís" <operando> <operando> <operador>, la cual permite encontrar más fácilmente los errores sintácticos existentes y evaluar la expresión en una sola pasada de izquierda a derecha. Es importante aclarar que para detectar qué figura se debe pintar de acuerdo con el valor calculado, el programa no hace un análisis combinatorio de la sumatoria de las subáreas posibles; actualmente el programa sólo reconoce valores que den como resultado el valor de una de las áreas, de una de las áreas que se repite n veces, ó del área total. En nuestro ejemplo, si el alumno entra $8*1.5 + 4*3$ <Entre> el programa pintará los dos rectángulos de la figura; pero si entra el resultado de esta suma o sea 24 <Entre> el programa no reconocerá que se refiere a la suma de las áreas de los dos rectángulos. Si en la práctica, se determina que los alumnos tienden a hacer estas factorizaciones, se implementará entonces la solución a este inconveniente en una futura versión.

EVALUACION DEL MATERIAL

Como parte del proceso de desarrollo se hicieron revisiones por parte de expertos en contenido, metodología e informática, valorando cada uno lo hecho, desde su perspectiva. De esta forma se ha procurado garantizar que el contenido es significativo y no presenta errores, que el tratamiento atiende las ideas en que se fundamenta su diseño y que la programación es eficiente y eficaz. Con base en las recomendaciones dadas por los expertos, se hicieron los ajustes del caso.

Actualmente se lleva a cabo una prueba piloto con grupos de estudiantes representativos de la población objeto, a partir de la cual se espera establecer si el material es efectivo (se logran los objetivos de aprendizaje) y si es eficiente (permite un uso racional de recursos humanos y temporales). Para esto se han distribuido copias en cinco regionales del SENA, en cada una de las cuales se lleva a cabo la evaluación formativa usando los mismos instrumentos de recolección de información, el mismo material y contando con instructores entrenados en su utilización.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de investigación y desarrollo de software educativo es complejo, lento y costoso pero altamente gratificante en cuanto que proporciona directrices concretas sobre los puntos en que debe enfatizar el material a ser desarrollado y su rol dentro del conjunto de medios que apoyan el aprendizaje de la sub-área escogida. Esto favorece que tenga relevancia el apoyo computarizado que se produzca.

A quienes están empezando procesos semejantes se dejan a consideración las siguientes recomendaciones:

- Procurar identificar las fuentes de información de que disponen en su institución

para especificar y priorizar los problemas y, dependiendo de ellas, buscar los mejores medios para obtenerla, analizarla y utilizarla.

- Conformar un equipo humano interdisciplinario para efectuar el diseño, conformado por un especialista en tecnología computacional, un docente del área temática y un experto en tecnología educativa, quienes es deseable hayan sido entrenados en diseño y producción de software educativo o que estén asesorados por un especialista.
- Trabajar el diseño de esta clase de apoyos en función de proyectos institucionales del tipo investigación evaluativa. El análisis, definición del problema educativo y el proceso de diseño exigen este enfoque.
- Capacitar a los docentes usuarios para el uso didáctico adecuado del apoyo.

CREDITOS

Este apoyo es una producción colectiva realizada por un equipo interdisciplinario de trabajo conformado por: Otto Quintero R. (Ingeniero de Sistemas), Hernán Mera B. (asesor en Tecnología Educativa), José Luis Hernández (docente del área de matemáticas) y Alfonso Santa cruz (coordinador regional del proyecto de Informática Educativa del Sena Regional del Valle). Este equipo de trabajo estuvo bajo la coordinación, asesoría e interventora de la Unidad de Informática Educativa de la Dirección General del Sena, la cual a su vez tuvo la asesoría externa de Álvaro H. Galvis P.

REFERENCIA

- 1 Galvis, A.H. (1986) Ciclo para desarrollo de apoyos computacionales al proceso de enseñanza-aprendizaje. Bogotá : SENA, Grupo de Informática Educativa (fotocopiado).
- 2 Nickerson, Perkins, Smith (1987). Enseñar a pensar. Barcelona : Paidós.
- 3 Carretero, M., García,J. (1984). Lecturas de psicología del pensamiento. Razonamiento, solución de problemas y desarrollo cognitivo. Madrid : Alianza Editorial (compilación).
- 4 Rubinstein, S.L. (1963). El proceso del pensamiento y las leyes del análisis, la síntesis y la generalización en la solución de problemas geométricos. Montevideo : Pueblos Unidos.
- 5 Bloom, B.S. (1977).Características humanas y aprendizaje escolar. Bogotá : Voluntad.
- 6 Gagné, R.M. (1987). Las condiciones del aprendizaje. México : Interamericana.

- 7 Norman, D.A. (1985). El aprendizaje y la memoria. Madrid: Alianza Psicología.
- 8 Lindsay, P., Norman, D. (1983). Introducción a la psicología cognitiva. Madrid : Tecnos.
- 9 Polya, G. (1985). Cómo plantear y resolver problemas. México: Trillas.
- 10 Newell, A., Simon, H. (1972). Human Problem Solving. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall,Inc.
- 11 Sternberg, R. (1986).Las capacidades humanas. Un enfoque desde el procesamiento de la información. Barcelona : Labor.
- 12 Mayer, R.E. (1986). Pensamiento, resolución de problemas y cognición. México : Trillas.
- 13 Landa (1972). Cibernética y pedagogía. Barcelona : Labor.
- 14 Landa (1978). Algoritmos para la enseñanza y el aprendizaje. México : Trillas.
- 15 Piaget, J., Beth,E.W. (1980).Epistemología, matemática y psicología. Barcelona : Crítica.
- 16 Piaget, J. Y otros .(1980). La enseñanza de las matemáticas. Madrid : Aguilar.
- 17 Mera, H., Hernández, J.L., Quintero, O., Santacruz, A. (1988). Análisis y Diseño de un apoyo computacional al proceso de enseñanza- aprendizaje: Geometría, Cálculo de Areas de Figuras Planas. Cali: SENA Regional Valle. (fotocopiado).