

TÉCNICAS DE CREACIÓN Y MANIPULACIÓN DE IMÁGENES DE ESTRUCTURAS ORGÁNICAS TRIDIMENSIONALES. NUEVOS ENTORNOS DE APLICACIÓN DIDÁCTICA

JUANES, J.A.¹, ZOREDA, J.L.², VACAS, J.M.³, RIESCO, J.M.¹ y VÁZQUEZ, R.¹

¹ Departamento de Anatomía Humana. Facultad de Medicina. Universidad de Salamanca.

² Departamento de Tecnología Electrónica y Bioingeniería. ETSI de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid.

³ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. EU de Formación del Profesorado. Universidad de Salamanca.

SUMMARY

The development of computer-generated images opens new perspectives in the field of teaching. These techniques permit geometric modelling of three-dimensional structures, allowing the production and manipulation of real images and the numerical and graphic characterization of two-three-dimensional contours. The procedure proposed is based on the manipulation, by geometric (turns, traslations) and algebraic (addition, intersection) operations, of an initially finite set of surfaces (elipsoids, paraboloids, cylinders and planes), defined by their parameters, for teaching purposes.

INTRODUCCIÓN

El ordenador ocupa un lugar en el campo docente al igual que lo tiene en otros ámbitos de la actividad social. Este instrumento puede completar la panoplia existente de recursos didácticos auxiliares y constituir, para el docente, una manera de repensar, renovar y mejorar el sistema educativo.

Una de las aplicaciones de los ordenadores, que ha entrado con mayor fuerza en los últimos años en todos los ámbitos profesionales es la creación, visualización y transferencia a un soporte fijo de imágenes. Sin embargo, aunque existe una demanda creciente de imágenes realizadas mediante ordenador, falta el tipo adecuado de enseñanza para la formación de profesionales que estén en condiciones de dibujar y concebir contornos y volúmenes valiéndose de instrumentos electrónicos e informáticos.

Las imágenes constituyen un elemento didáctico de comunicación rápido y eficaz. Las informaciones bajo forma de imágenes son muy variadas, y algunas son tan

agradables a la vista que nos sugestionan, llegando a comprender ideas o conceptos de una forma más clara (Juanes et al. 1990, Juanes y Vázquez 1991).

Las técnicas de grafismo por ordenador (Computer Graphics) tienen su mayor difusión en las áreas del CAD, CAM y CAE, donde son un soporte, cada vez más aceptado y difundido, como ayuda al diseño (CAD), a la fabricación (CAM) y a la resolución de problemas de ingeniería (CAE) (Voisinet 1983, Barr y Krimper 1985, Robb 1990, Foley et al. 1990, Requicha y Rossignac 1992). Estas áreas constituyen una de las aplicaciones del grafismo por ordenador, en donde aspectos como la simulación o la manipulación de imágenes toman una nueva perspectiva, e incluso una nueva entidad (Boissonnat 1984, Claude 1987, Constantin et al. 1989, Hill 1990, Barberá y Sanjosé 1990, Juanes et al. 1992).

Dado el interés que tienen estas técnicas en el terreno didáctico, nuestro propósito ha sido definir un sistema de grafismo por ordenador que, de forma general, per-

mita la elaboración y modificación de imágenes de estructuras orgánicas del cuerpo humano, así como la caracterización numérica y gráfica de contornos anatómicos bi/tridimensionales.

PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Debido al impacto que están teniendo las nuevas tecnologías en el ámbito educativo, cuya aportación acerca a una mejor comprensión del proceso de aprendizaje y memoria, nuestro objetivo, con el presente estudio, ha sido elaborar un sistema informatizado que nos permita crear, manipular y almacenar estructuras orgánicas tridimensionales (Cuadro I), facilitando, de esta forma, la comprensión de fenómenos que, siendo difíciles de entender verbalmente por el alumno, podamos clarificarlos mediante una simulación visual y dinámica, al mismo tiempo que resultan más asequibles y atractivos para los estudiantes.

Los fenómenos de simulación mediante computadora permiten al estudiante una mejora en su proceso de aprendizaje (Juanes et al. 1992), representando la realidad de una forma más o menos detallada.

Las técnicas de grafismo por ordenador permiten representar fenómenos u objetos de una forma dinámica, siendo muy útiles y prácticas en las tareas educativas.

El sistema de modelado que proponemos se fundamenta en las siguientes hipótesis:

a) Consideramos el cuerpo humano como una estructura compleja formada por la unión de estructuras más simples (p.e. una mano) constituidas por otras más básicas (p.e. la falange de un dedo).

b) Cada estructura básica puede aproximarse (modelarse) mediante un conjunto finito de familias de superficies o volúmenes geométricos.

Estas dos hipótesis implican la necesidad de seleccionar las superficies y volúmenes y definir: a) las operaciones a realizar con cada una de ellas, b) la forma de almacenar los modelos de estructuras básicas, y c) las operaciones a realizar para obtener una estructura de complejidad creciente.

Para el modelado tridimensional de estructuras orgánicas se llevarán a cabo los siguientes pasos:

* En primer lugar, se desarrollará el modelado mediante una aproximación poliédrica de la superficie, a partir de puntos repartidos sobre los diferentes contornos que describen el órgano o estructura a modelar.

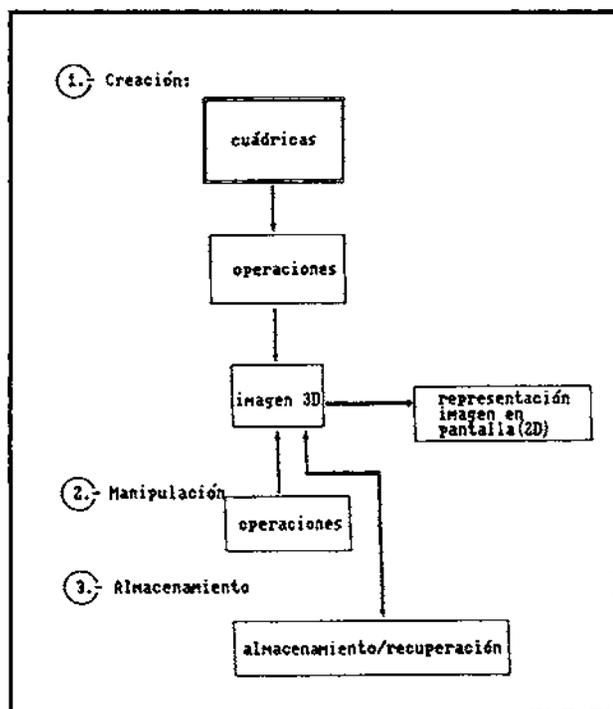
* Se practicarán métodos basados en la triangulación de contornos, de forma que la estructura anatómica considerada se aproxime, mediante facetas triangulares, a la imagen real.

* Se utilizarán técnicas de modelado geométrico que se acerquen a una selección de contornos del volumen a modelar.

* Para el proceso de modificación del modelo, se practicarán operaciones algebraicas o geométricas, que varíen el modelo inicial.

Cuadro I

Diagrama del sistema con las tres fases básicas que lo componen: creación, manipulación y almacenamiento.



METODOLOGÍA Y MATERIAL INFORMÁTICO UTILIZADO

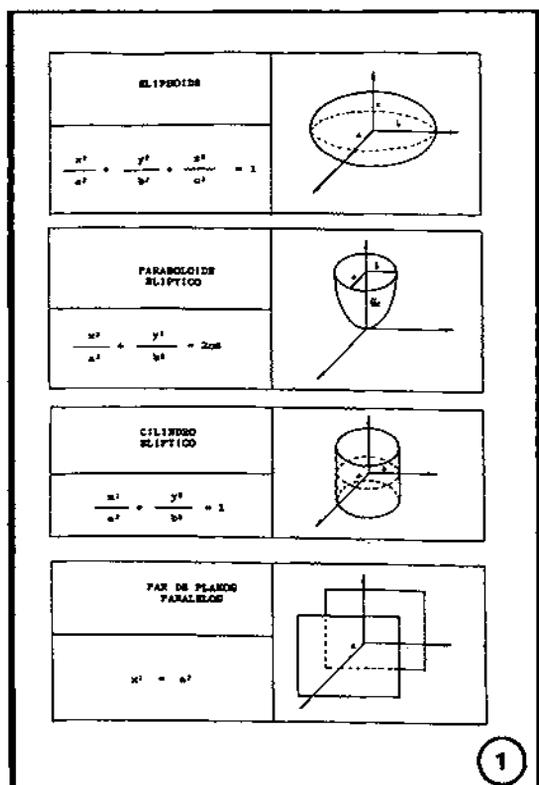
El tratamiento de un problema con ordenador, desde su planteamiento hasta su resolución, requiere una serie de pasos lógicos que iremos describiendo, haciendo un especial énfasis en los puntos que revistan un mayor interés:

1. Descripción del problema: Es la fase previa, independiente del ordenador, donde se incluyen todos los datos disponibles que pueden ser de utilidad de cara a la resolución del problema, así como la descripción de los resultados que se deseen obtener como solución final.

2. Análisis del programa: Se elegirá el lenguaje de programación en el que debe realizarse la aplicación y el soporte para la entrada y recogida de datos. Esta fase resulta innecesaria, en muchas ocasiones, dado que la naturaleza del problema es un factor que condiciona el lenguaje a utilizar. Para nuestro estudio empleamos el

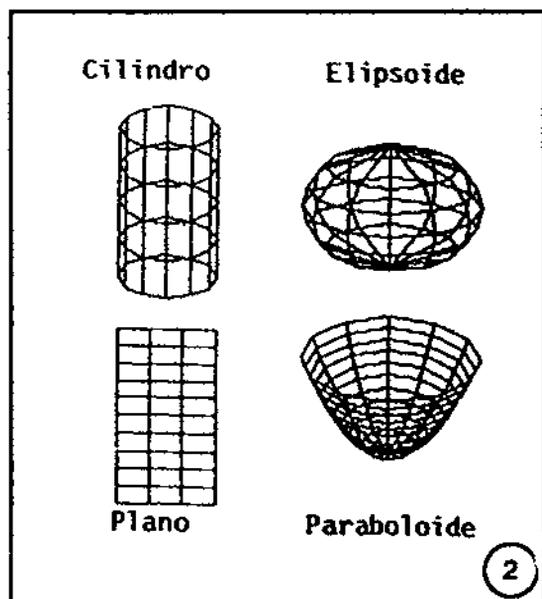
Esquema 1

Figuras geométricas utilizadas para el desarrollo del sistema de modelado.



Esquema 2

Cuádricas necesarias para la creación de las figuras orgánicas.



lenguaje «fortran» realizándose en una estación gráfica como equipo de trabajo.

Por otra parte, en esta fase se determinarán los tipos de variables a emplear, además de valorar la posible utilización de subprogramas.

3. Codificación del programa: Es la fase de escritura de las instrucciones o sentencias que constituyen el programa fuente. Esta fase es la más tediosa en el desarrollo del programa y requiere personal adecuado para poder obtener el máximo rendimiento al sistema elaborado. En este sentido, la participación, en nuestro trabajo, de técnicos en bioingeniería ha hecho posible el desarrollo de todo el programa.

4. Pruebas y puesta a punto del programa: Una vez que se dispone de un paquete fuente, hay que valorar los posibles errores de sintaxis y de lógica. En nuestro trabajo, la mayoría de estos errores se detectaron durante la compilación del programa, inhibiendo, por lo general, su ejecución, y proporcionándonos un listado del programa acompañado de mensajes acerca de los lugares donde existía error, la naturaleza de éste y sus posibles causas.

5. Realizadas todas las fases anteriormente descritas, nos encontramos en disposición de llevar a cabo la ejecución definitiva del programa.

Como ha quedado expuesto con anterioridad, nuestro sistema debe permitir la creación de estructuras orgánicas, su manipulación y almacenamiento (Cuadro I).

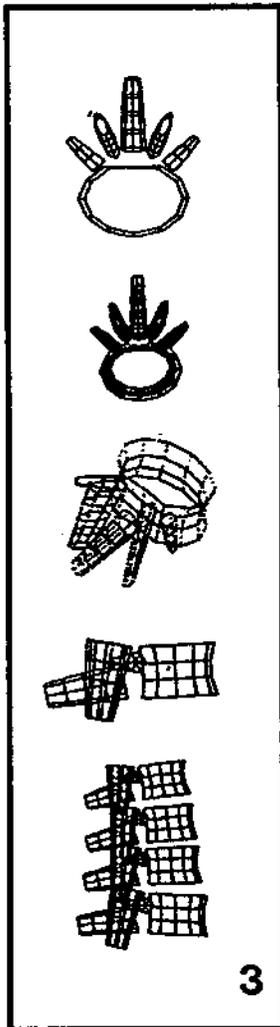
Es obvio indicar que una de las principales propiedades de un órgano es que pertenece a un espacio real. Aunque esto pueda parecer evidente, nos permite eliminar toda una serie de superficies imaginarias. Otra propiedad de los órganos es que son cerrados, es decir, encierran dentro de ellos un volumen que es finito, con lo que no nos servirían superficies abiertas, tales como cilindros hiperbólicos.

Teniendo en cuenta estas dos sencillas propiedades, para la creación de las estructuras orgánicas, nos basamos en un conjunto de familias de superficies cuádricas: cilindros, elipsoides, paraboloides, así como planos (Esquemas 1 y 2). Las tres primeras han sido seleccionadas en base a que son superficies sin aristas bruscas. Los planos son los elementos de cierre en órganos como, por ejemplo, las vértebras (Esquema 3). No obstante, en ocasiones fue conveniente la aplicación de superficies definidas por tres puntos para operaciones de corrección, y otras superficies obtenidas por algoritmos aproximadores.

A partir de estas cuádricas se genera la figura y su mallado (división de la figura en superficies triangulares o rectangulares) (Esquema 4). Para la utilización de las cuádricas seleccionadas en este sistema de creación de imágenes, es preciso que aquéllas puedan ser transformadas en un conjunto de superficies, definidas por unos vértices, que formarán la base de datos que el sistema puede utilizar. La representación de estas superficies, en forma de unión ordenada de los puntos, es lo que denominamos mallado.

Esquema 3

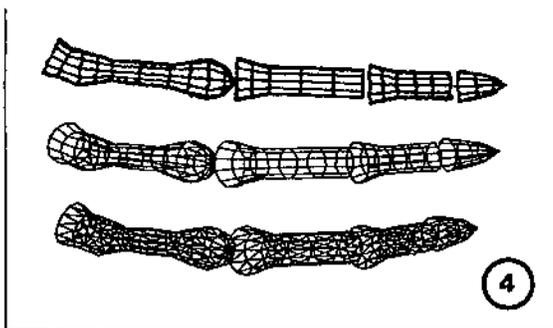
Representación del modelado de las vértebras y su visualización en diferentes posiciones del espacio, así como la unión entre ellas.



3

Esquema 4

Representación del modelado de un dedo de la mano con su división en facetas rectangulares y triangulares que constituyen su mallado para irse aproximando a la imagen definitiva.



4

El problema surge con la elección del tipo de red que forma el mallado. En principio, son varias las formas que puede adoptar un pixel o superficie, pero las más cómodas a la hora de dividir una figura parecen ser la triangular y la rectangular. De estas dos superficies, la más lógica podría parecer la triangular, ya que cualquier figura geométrica puede dividirse en triángulos, mientras que no siempre es posible hacerlo en cuadriláteros u otros polígonos. Sin embargo, sí es posible hacer una combinación de superficies triangulares y trapezoidales con las que se cubra cualquier figura.

Algunas figuras, como los cilindros elípticos, son susceptibles de ser divididas exclusivamente mediante rectángulos. Otras, como el elipsoide, deben formarse a base de cuadriláteros o trapezios y formas triangulares.

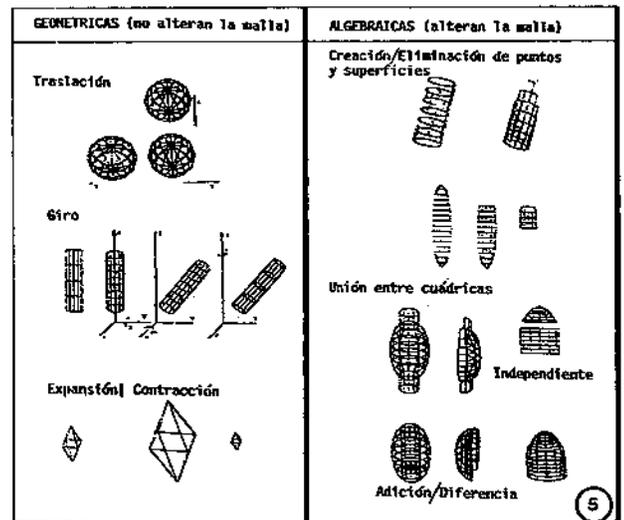
La creación del modelo pasa por el procesado de las cuádricas en que se ha descompuesto el órgano; para ello efectuamos operaciones sobre cada cuádrica (en general una transformación bilineal) y entre ellas mismas. Para realizarlo se han definido dos bloques de operaciones, en función de que alteren o no el mallado, denominadas algebraicas y geométricas respectivamente (Esquema 5). Las primeras permiten la unión de cuádricas (suma algebraica), el corte de la cuádrica y la eliminación de puntos. Las segundas son operaciones geométricas, mediante las cuales realizamos traslaciones, giros, etc.

Todas las figuras utilizan para su creación dos matrices: una para almacenar las coordenadas x, y, z de cada punto que compone la figura; y otra en la que se almacenan la disposición de los puntos por los que está formada cada una de las superficies.

Entendemos por manipulación, conseguir el movimiento de los órganos en todas las direcciones del espacio y

Esquema 5

Operaciones algebraicas y geométricas que permiten el sistema para el modelado de los órganos.



5

su representación en la pantalla del ordenador, su enlace con otros órganos almacenados y la construcción de conjunto de órganos más complejos a partir de dichos elementos almacenados y, por lo tanto, creados en una fase anterior; por ello, es necesario un almacenamiento de los órganos generados, que nos permita su recuperación o modificación.

El resultado de la manipulación de cada una de las cuadrículas es una figura provisional, definida por una matriz de puntos y de superficies, señalada anteriormente, donde se indica: *a)* la interrelación espacial de cada punto de la figura, y *b)* su mallado. Cada una de las figuras provisionales constituye un elemento de la definitiva, la cual se obtiene manipulando, mediante las operaciones descritas, todas las provisionales.

Es necesario disponer de un control visual sobre todas las operaciones realizadas. En las etapas iniciales de creación de un modelo, donde se extraen y se seleccionan los contornos más característicos del órgano, no es necesaria la visualización tridimensional; sí en las restantes fases, donde las operaciones tienen lugar en el espacio de tres dimensiones.

Análogamente, mientras dura el proceso de modificación de un modelo, sólo es necesario visualizar un esquema de él (modelo de alambre).

Contemplamos tres niveles de visualización:

- 1) una representación del tipo modelado en alambre;
- 2) una representación simple de modelos de facetas, es decir, sin contemplar aspectos como puntos de iluminación, sombreados, reflexión especular, etc.;
- 3) representación de alta calidad, en base a los algoritmos de visualización de superficies paramétricas.

Así pues, durante el proceso de creación, las figuras provisionales o definitivas se representan en la pantalla, y para ayudar a su visualización se dispone de un conjunto de operaciones que, sin afectar al modelo, permiten darle una determinada perspectiva, iluminación y eliminación de líneas ocultas.

El modelo *a* puede ser almacenado mediante su matriz de puntos, o mediante la historia de su creación; esta última forma permite continuar el proceso de modelado, efectuar correcciones sobre alguna figura ya realizada, etc.

Cualquiera de los dos tipos de almacenamiento permite utilizar la figura como un elemento básico en otro proceso de modelado y, por tanto, construir modelos de estructuras más complejas en base a figuras ya creadas, manipulándolas con las operaciones ya indicadas.

Para la realización de nuestro trabajo utilizamos, como soporte informático, un equipo Microvax II, acoplado a una pantalla Tektronix 4207 controlándolo desde «fortran» a través de una librería de subrutinas denominada STI (Standart Tektronix Interface) (Cuadro II).

Se utilizó el lenguaje de alto nivel «fortran» versión IV, por ser uno de los más útiles dentro de las aplicaciones numéricas científicas y técnicas. Este lenguaje, como todos los orientados fundamentalmente a procesos de cálculo, está dirigido a facilitar al máximo la realización de cálculos de cierta complejidad; para ello, además de contar con los operadores aritméticos habituales, encargados de las operaciones de suma, resta, producto y cociente, el lenguaje lleva incorporadas una serie de funcionales estándar de tipo matemático, corrientemente utilizadas en los procesos de cálculo, tales como logaritmos, exponenciales, funciones trigonométricas, etc. El juego de sentencias de control del lenguaje es bastante sencillo de emplear, permitiendo al programador gran libertad de movimientos en la organización de los procesos, gran facilidad de realización para la toma de decisiones, control de ciclos, etc.

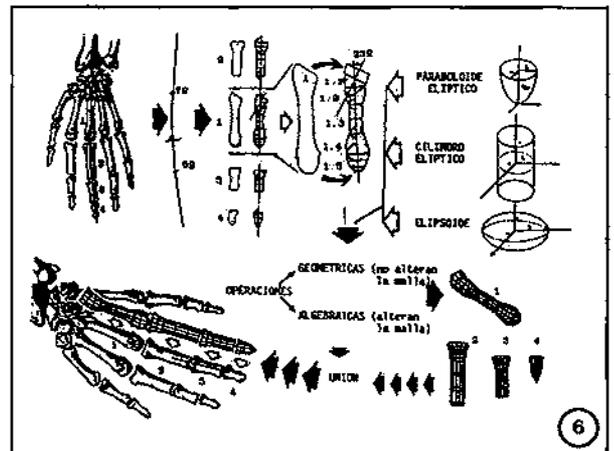
Por otra parte, el lenguaje dispone de un adecuado soporte para la realización de subprogramas dentro del programa, aumentando la capacidad de un trabajo en equipo.

Las aplicaciones hacia las que el lenguaje está orientado son las típicas que se generan en tareas de ingeniería, caracterizadas por requerir un gran volumen de cálculo, elaborado, casi siempre, sobre un conjunto reducido de datos iniciales, para obtener, como resultado final, un conjunto de números que caracterizan la solución del problema propuesto.

EJEMPLO PRÁCTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE UN MODELO

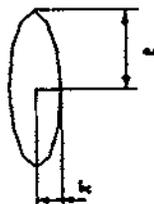
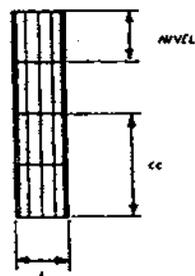
En el presente apartado describimos un ejemplo práctico para conseguir un modelo de los huesos de un dedo de la mano. Todo el procedimiento seguido se representa gráficamente en el esquema 6.

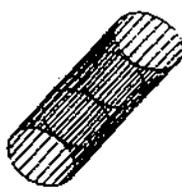
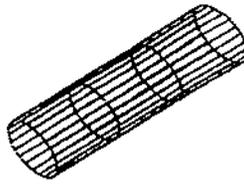
Esquema 6
Procedimiento seguido para la creación del modelado de los huesos de un dedo (metacarpiano y falanges).



Cuadro II

Ejemplo representativo de una subrutina para desarrollar cilindros elípticos.

```

C*****
C***** SUBROUTINA PARA CREAR CILINDROS ELIPTICOS *****
C*****
C
C*****
A
A crea los puntos y los uniones entre ellos que conforman un
A cilindro eliptico y se almacenan en las matrices A y S
A respectivamente ( matrices de la figura en curso ).
A
A el cilindro esta formado por
A L*(NIVEL+1) puntos
A L*NIVEL superficies rectangulares
A
A
A ENTRADAS :
A
A ac
A bc
A cc
A NIVEL
A c
A
A SALIDAS :
A
A A (2000,3)
A S (2000,4)
A PUNTOS
A SUPER
A*****
C
C SUBROUTINE CILINDRO (A,S,L,ac,bc,NIVEL,cc,PUNTOS,SUPER)
C
C real A(2000,3),S(2000,4),L,I,K,NIVEL,PUNTOS,SUPER
C
C*****
A
A ac y bc son los parametros del eje del cilindro
A cc es la semialtura del cilindro
A L es el numero de lados
A NIVEL es el numero de niveles en que se divide el cilindro
A
A RUTINAS DEL SYS LLAMADAS :
A
A SUBROUTINAS LLAMADAS :
A
A*****
C
C***** SE BORRA LA MATRIZ S Y A
C
C do i=1,2000
C do j=1,3
C A(i,j)=0
C S(i,j)=0
C end do
C S(i,4)=0
C end do
C
C***** CALCULO DE LOS PUNTOS
C
C i=1
C do j=0,NIVEL
C do n=0,6.2.6.283185307/L
C A(i,1)=ac*cos(n)
C A(i,2)=bc*sin(n)
C A(i,3)=(2*j-NIVEL)*cc/NIVEL
C i=i+1
C end do
C end do
C
C***** CALCULO DE LAS SUPERFICIES
C
C i=1
C do k=1,L-1
C do j=1,NIVEL
C S(i,1)=k*(A(j-1)
C S(i,2)=k*(A(j-1)
C S(i,3)=k*(A(j
C S(i,4)=k*(A(j
C i=i+1
C end do
C end do
C do j=1,NIVEL
C S(i,1)=j*(A
C S(i,2)=j*(A(j-1)*A
C S(i,3)=j*(A(j-1)*A
C S(i,4)=j*(A(j
C i=i+1
C end do
C
C***** CALCULO DEL NUM. DE PUNTOS Y SUPERFICIES
C
C PUNTOS=L*(NIVEL+1)
C SUPER=L*NIVEL.
C
C return
C end

```

El modelo se desarrolla mediante una aproximación poliédrica de la superficie, a partir de puntos repartidos sobre los diferentes contornos que describen el objeto.

Se utilizaron métodos basados en la triangulación de contornos, de tal forma que la superficie de la estructura anatómica considerada se aproxime mediante facetas triangulares. Además, empleamos técnicas de modelado geométrico que se aproximaron a una selección de contornos del volumen a modelar.

De esta forma, obtuvimos los ángulos que forman entre sí los ejes del metacarpiano y las tres falanges que constituyen el dedo; asimismo, para cada uno de los huesos obtuvimos las figuras geométricas (cuádricas) que constituyen la base del modelo. El metacarpiano se ha descompuesto en cinco elementos geométricos: tres paraboloides, un cilindro y un elipsoide, definiendo para cada superficie sus parámetros geométricos, ángulos de inclinación respecto al eje de la estructura y niveles de corte.

Mediante las operaciones (algebraicas o geométricas), ya referidas, procesamos cada una de estas superficies (las giramos, trasladamos, unimos, etc.) obteniendo los modelos de las falanges y el metacarpiano.

Cada modelo es almacenado, tanto por puntos como por la historia de su construcción. La determinación del modelo del dedo se obtiene directamente de los modelos del metacarpiano y de las falanges con sólo situarlos (giro y traslación) en sus posiciones relativas y uniéndolos entre sí.

El diseño de cada uno de los restantes dedos se obtiene en base a los modelos de huesos respectivos; para ello aplicamos las operaciones geométricas necesarias para conseguir el modelo de cada uno de los huesos del dedo considerado y componiéndolos en sus posiciones relativas.

EXPECTATIVAS DE FUTURO EN EL SISTEMA EDUCATIVO

Hasta la última década, tanto los estudiantes universitarios como los profesores no habían concedido una atención al ordenador; sin embargo, en los últimos años, debido al avance de las tecnologías de la información, la informática ha pasado a formar parte de los procesos pedagógicos educacionales (Juanes et al. 1990, Juanes et al. 1992).

El ordenador constituye una herramienta intelectual tanto para el profesor como para los alumnos. Sin embargo, observar una mejora en la enseñanza dependerá de la capacidad del profesor para aprovechar los recursos potenciales del ordenador en la enseñanza (Virgos 1989, Juanes et al. 1990).

Cada vez es mayor el número de profesores que utiliza en sus actividades el ordenador, configurándose como una

tendencia predominante en su aplicación didáctica (Constantin et al. 1989, Juanes et al. 1990).

Los profesores deberán concienciarse que educar para el futuro también incluye introducir a los alumnos en el uso de los recursos informáticos (Juanes et al. 1991), de lo contrario, reforzarán un modelo de enseñanza desconectado de la realidad social.

Los medios informáticos presentan una gama extensa de opciones como: memorizar, analizar, investigar, simular situaciones o experiencias, etc. (Juanes et al. 1992).

La computadora se transforma en un mediador entre los alumnos y el profesor, mediante un intérprete (software didáctico) creado por el docente.

El profesor es quien guía y orienta el trabajo de sus alumnos con la elaboración del programa didáctico, permitiéndole averiguar con qué dificultades tropiezan los alumnos.

La creación de programas docentes informatizados tienen como finalidad conseguir que el alumno adquiera determinadas destrezas y conocimientos, presentándole información y requiriendo de él distintos tipos de respuestas (Juanes et al. 1990, Vacas y Juanes 1991).

Ante los antecedentes expuestos, nuestro propósito ha sido introducir en el terreno educativo nuevas técnicas didácticas que resulten innovadoras y atractivas para los estudiantes, con el fin de mejorar y facilitar el aprendizaje de éstos.

Nuestro departamento, en los últimos años, viene experimentando, con los alumnos, programas docentes informatizados con inclusión de imágenes anatómicas digitalizadas mediante vídeo o escáner, consiguiendo resultados positivos debido a las posibilidades que ofrecen estos programas didácticos de autoevaluación, ya que en ellos se incluyen diferentes preguntas que el alumno deberá ir respondiendo.

Estos programas anteriormente señalados se han desarrollado en ordenadores personales de baja potencia y capacidad que existen, hoy día, en gran número de centros educativos. Pero el sistema de modelado de estructuras orgánicas tridimensionales requiere equipos más potentes con gran operatividad en las tareas gráficas; estos aparatos son las denominadas estaciones gráficas, como es el caso del ordenador Microvax II. Su elevado coste hace que no predominen, todavía, en la mayoría de los centros de enseñanza, siendo su utilización muy restringida.

Por ello, la experimentación de nuestro sistema no ha sido muy difundida. No obstante, nuestro propósito, como docentes, ha sido la creación de un sistema capaz de poder visualizar, en la pantalla del ordenador, imágenes tridimensionales de órganos humanos, que puedan desplazarse en todos los planos del espacio.

A MODO DE CONCLUSIÓN

La enseñanza programada incluye un conjunto de técnicas que llevan a la racionalización óptima del proceso pedagógico, es decir, la transmisión de conocimientos. Proyecta el material en secuencias lógicas y bien estructuradas. Lleva a verificar el aprendizaje, permitiendo la rectificación inmediata en caso de error, sin dejar lagunas del aprendizaje.

El procedimiento descrito permite obtener modelos de una forma rápida y simple, cuyo grado de complejidad depende del número de cuádricas utilizadas y operaciones realizadas. Los modelos son almacenados tanto por puntos como por sus elementos constitutivos y su proceso de creación, lo que permite definir otros modelos a partir de los ya almacenados.

Por otro lado, con la división del programa en subrutinas independientes, resulta más fácil la comprensión de cada una de éstas, así como su posterior modificación si fuese necesario.

Este método de las cuádricas permite recrear gran cantidad de estructuras tridimensionales de una forma rápida

y simple, siempre que el nivel de precisión requerido no sea excesivo. En el caso de aplicaciones de elevada precisión, la gran cantidad de operaciones a realizar con las cuádricas hace que este sistema sea engorroso, siendo necesario, para estos casos, un mecanismo digitalizador que posibilitara la entrada de datos, obtenidos de una figura real, directamente al sistema. Este modo de proceder resulta caro y poco compensador.

Si bien, teóricamente, puede resultar difícil la obtención de una estructura orgánica determinada, debemos tener en cuenta que estamos trabajando únicamente desde una perspectiva visual y, por tanto, no es necesaria una exactitud matemática.

Desde el punto de vista educativo, este desarrollo influirá en la creación de programas de aprendizaje más cercanos al alumno.

Con ello pretendemos estimular a todos los profesionales de la enseñanza a introducirse en estas técnicas pedagógicas innovativas, con beneficios evidentes para la enseñanza de sus alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBERA, O. y SANJOSÉ, V. 1990. Juegos de simulación por ordenador: un útil para la enseñanza a todos los niveles, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1) pp. 46-51.

BARR, P. y KRIMPER, R. 1985. CAD: Principles and Applications. Prentice Hall.

BOISSONNAT, J.D., 1984. Geometric structures for three-dimensional shape representation, *ACM Transactions on graphics*, octubre.

CLAUDE, P., 1987. Dessin Animé Assisté par ordinateur, *Microsystems*, 76.

CONSTANTIN, B., VANNEUVILLE, G., VÁZQUEZ, R., RIESCO, J.M. y JUANES, J.A. 1989. Infographisme et enseignement médical. Enseignement assisté par ordinateur. Application à l'enseignement de los sphénoide en anatomie, *Bull. de l'Assoc. des Anatomistes*, 73, pp. 15-17.

FOLEY, J.D., VAN DAM, A., FEINER, S.K. y HUGHES, J.F. 1990. *Computer Graphics. Principles and practice*, 2ª ed. (Addison-Wesley).

HILL, F.S. 1990. *Computer Graphics*. (Macmillan).

JUANES, J.A., VACAS, J.M., RIESCO, J.M., CARRETERO, J. y VÁZQUEZ, R. 1990. Programa docente informatizado con animación de imágenes digitalizadas aplicadas al campo de la Anatomía Humana. X Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Colección Estudios, 3, pp.195-199. (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha).

JUANES, J.A. y VÁZQUEZ, R., 1991. Tratamiento de imágenes por ordenador, *Apuntes de Educación (Nuevas Tecnologías)*, 42, pp. 9-12. (Anaya: Madrid).

JUANES, J.A., SÁNCHEZ, F. y CARRETERO, J. 1991. Periféricos adecuados para la EAO *Apuntes de Educación (Nuevas Tecnologías)*, 42, pp. 6-8. (Anaya: Madrid).

JUANES, J.A., RIESCO, J.M., SANCHEZ, F., CARRETERO, J., VÁZQUEZ, R. y VACAS, J.M. 1992. Simulación de movimientos articulares de la columna vertebral mediante ordenador, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, pp. 3-11.

REQUICHA, A.A.G. y ROSSIGNAC, J.R. 1992. Solid modelling and beyond, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 12 (5).

ROBB, R.A., 1990. A software system for interactive and quantitative analysis of biomedical images, *NATO ASI Series*, Vol. F 60, pp. 333-361.

VACAS, J.M. y JUANES, J.A., 1991. Creación de un programa docente informatizado, *Apuntes de Educación (Nuevas Tecnologías)*, 42, pp. 2-5. (Anaya. Madrid).

VIRGOS, F., 1989. El ordenador ante el proceso educativo: más que un nuevo medio tecnológico, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 2, pp. 63-74.

VOISINET, D., 1983. *Introduction to CAD*. (McGraw-Hill).