



IB DIPLOMA PROGRAMME
PROGRAMME DU DIPLÔME DU BI
PROGRAMA DEL DIPLOMA DEL BI

COMPUTER SCIENCE

CASE STUDY: COMPUTER TECHNOLOGY AND HUMAN EVOLUTION RESEARCH

For use in May 2002 and November 2002

INFORMATIQUE

**ÉTUDE DE CAS : INFORMATIQUE ET RECHERCHE SUR L'ÉVOLUTION DE
L'HUMANITÉ**

Pour utilisation lors des sessions de mai 2002 et novembre 2002

INFORMÁTICA

**ESTUDIO DE UN CASO: TECNOLOGÍA INFORMÁTICA E INVESTIGACIÓN DE LA
EVOLUCIÓN HUMANA**

Para uso en los convocatorias de mayo de 2002 y noviembre de 2002



INFORMÁTICA

ESTUDIO DE UN CASO : TECNOLOGÍA INFORMÁTICA E INVESTIGACIÓN DE LA EVOLUCIÓN HUMANA

Para uso en las convocatorias de mayo de 2002 y noviembre de 2002

INSTRUCCIONES PARA LOS ALUMNOS

- Cuadernillo de estudio de un caso requerido para la Prueba 2 del Nivel Superior y la Prueba 2 del Nivel Medio de los exámenes de Informática.
- Este cuadernillo de estudio de un caso contiene 4 secciones:
 1. Texto;
 2. El glosario;
 3. Cita de un trabajo de investigación;
 4. Figuras 1-6 con leyendas.

1. Texto

Un grupo de investigación en un instituto universitario que estudia la evolución del ser humano, está interesado en investigar fósiles por medio de su digitalización y el posterior análisis de los archivos resultantes con ayuda de programas avanzados para computador. (Este campo particular de investigación se denomina “Antropología virtual” — abreviado como AV — a fin de distinguirlo de la antropología física convencional en la cual se realizan mediciones, *etc.* utilizando el fósil original). El enfoque de la AV tiene varias ventajas. La más obvia es: permite a los investigadores examinar (“ver”) el interior de un fósil. En la antropología física convencional no se puede ver el interior de un fósil sin romperlo. Los fósiles humanos son muy raros y muy preciosos; por lo tanto, no deben nunca ser dañados en el curso de una investigación. Los científicos que investigan y/o analizan fósiles humanos y de antepasados del ser humano se llaman paleoantropólogos.

Los paleoantropólogos comienzan sus análisis de los fósiles generando, en primer lugar, imágenes de TC de los mismos. Para ello utilizan un aparato TC de uso médico (Figura 3 y Figura 4). (TC significa “tomografía computada” o “tomógrafo computado”). En primer lugar, se coloca el fósil en una caja, la cual a su vez es puesta sobre una camilla deslizante (Figura 5) que puede ser movida a través de una apertura circular rodeada por un conjunto anular — el tomógrafo computado (Figura 4). El conjunto anular consiste en un aparato emisor de rayos X sobre un disco giratorio y un anillo circular de detectores (Figura 4). El aparato emisor de rayos X gira alrededor del fósil sobre la camilla; tras un giro completo del conjunto, se desliza el fósil hacia delante una distancia fija y determinada (a menudo 1 mm), y se hace girar otra vez más al aparato de rayos X alrededor del espécimen. La distancia que el fósil se desliza hacia adelante entre giros se denomina un disparo (o “distancia de disparo”). Este proceso se repite hasta haber explorado completamente el fósil.

Los rayos X son atenuados por el material fósil, cosa que no ocurre con el aire que rodea al fósil (dentro de los límites de la sensibilidad de los detectores); el material de la caja apenas atenúa los rayos. El archivo (denominado “archivo de absorción”) de un único disparo es una matriz unidimensional que consiste en las intensidades de absorción — una para cada ángulo del haz. Por lo general, una exploración completa consiste en 200 a 400 disparos. Pero a los investigadores les interesa conocer la intensidad de absorción en cada punto del fósil. Ello no es posible, ya que hay un número infinito de puntos. En lugar de ello, se subdivide cada exploración completa en pequeñas regiones tridimensionales. Estas regiones se llaman “voxeles”, abreviatura de “volumen en pixeles”. Cada voxel tiene un valor de absorción específico, medido en unidades Hounsfield. En un paso de umbralización se fija el segundo plano en 0 HU (unidades Hounsfield), de modo que el fósil se representa por una matriz tridimensional de valores no nulos y positivos denominados números TC. El archivo de absorción consiste únicamente en direcciones, por lo cual se deben utilizar varios algoritmos de transformación numéricos para calcular el número TC de cada voxel. Todos los investigadores en el campo de la AV se lamentan por el hecho de que los mejores algoritmos exigen gran cantidad de cálculos, numéricamente muy intensos. El archivo de voxeles (computados) se llama generalmente “tomografía computada”.

Dicho sea de paso, se utiliza el mismo método (con parámetros físicos ligeramente distintos en los tubos de rayos X, *etc.*) para el diagnóstico de pacientes, por ejemplo, que sufren de tumores cerebrales. En el caso de un tumor cerebral, el radiólogo observará las imágenes de los disparos en un monitor de computador y podrá identificar las regiones en que hay un tumor por la diferencia entre sus intervalos de número TC y el intervalo de números TC del tejido cerebral circundante (sano).

En la investigación con fósiles, una tomografía computada típica tendrá generalmente varios cientos de megabytes, ya que para cada voxel el número TC está almacenado con resolución de 12 bits (escala de grises) y una tomografía típica tiene 512×512 voxeles por disparo, con un total de entre 200 y 400 disparos. Con resolución de 12 bits, cada número TC se almacena casi siempre en formato de 2 bytes.

Para ulterior análisis e investigación, se transfiere este archivo desde la instalación de tomografía (Figura 5) ubicada en el departamento de radiología de un hospital y por medio de un enlace nacional de comunicaciones, al instituto universitario que cuenta con varias estaciones de trabajo. Para la transmisión, se segmenta la tomografía computada en paquetes. Cada paquete es enviado por separado, junto con bits de paridad y sumas de verificación (para reducir la posibilidad de errores de transmisión). Hay también un complejo protocolo de apretón de manos ("handshaking") para asegurar que la transferencia es completa. Los formatos de archivo de las diversas etapas de cálculo de la tomografía computada son distintos, y se necesita bastante potencia de cómputo para convertir de un formato a otro.

Los investigadores del instituto compiten con otros grupos de investigación, y están por lo tanto preocupados por la posibilidad de que personas no autorizadas obtengan el acceso a este archivo. También están preocupados porque algún hacker podría intentar dañar estos valiosos archivos, penetrando el sistema por pura maldad. Es por estos motivos que el instituto tiene dos LAN separadas por una "barrera de protección" o "firewall" (un programa de software especializado que impide el acceso a las personas no autorizadas). Una de las LAN (la "exterior") está conectada a la WAN del centro de cómputos de la universidad y también a la Internet. La otra LAN (la "interna") interconecta dos estaciones de trabajo (equipadas con procesadores RISC) y tres computadores de escritorio de altas prestaciones (CPU de 1000 MHz con 512 MB de RAM cada uno) por medio de un servidor de hub cuyo firewall no sólo limita el acceso a los computadores, a los sistemas de copias de resguardo (unidades de cinta a carrete abierto), a 20 unidades de almacenamiento de disco duro de 10 GB y a varios de 20 GB, sino que también monitorea los intentos de penetración no autorizada.

Las estaciones de trabajo son utilizadas por los investigadores para manipular, analizar, editar o recalcular de cualquier otra manera las tomografías computadas. Los archivos resultantes se deben almacenar y/o transferir a las máquinas de escritorio de altas prestaciones, en las cuales se generan imágenes gráficas para publicación o almacenaje en CD-ROM. Las principales tareas que hacen uso intensivo de la computación son: filtrado, segmentación, extracción de características y rearmado (ver en el Glosario las definiciones de estos términos). La representación de superficies y el análisis estadístico avanzado se realizan en las máquinas de escritorio de altas prestaciones. Las tareas de filtrado se procesan en modo de lotes, el cual puede ser interrumpido por medio de un pedido para tareas urgentes de identificación de hitos del terreno. Una tarea de lote que se ha interrumpido de esta manera será puesta en una pila; el estado intermedio de la memoria volátil se almacenará como archivo de intercambio en una unidad de disco duro de gran tamaño, reservada específicamente para este fin.

Los resultados de la investigación y las imágenes procesadas son transferidas “por encima del firewall” a otros computadores del instituto para su inclusión en manuscritos, publicación en un sitio web o para preparar presentaciones/afiches para su presentación en encuentros científicos.

También se deben generar archivos de gran tamaño con imágenes animadas, ya que la representación de superficies de alta calidad — por si misma — suele no ser suficiente para la presentación visual de estas complejas estructuras fósiles (Figura 1). Una secuencia animada consiste en rotar lentamente el fósil virtual, recalculando la superficie representada para cada cuadro y comprimiendo el cuadro de imagen de salida. La secuencia de imágenes (comprimidas), junto al algoritmo de descompresión, se denomina archivo animado. Los archivos animados son grabados en discos CD-ROM, los cuales son luego vendidos a través de una editorial científica comercial de gran reputación a otras universidades de investigación. La propiedad intelectual de los CD-ROM corresponde al museo que tiene la custodia del fósil.

¿Qué ventajas tiene la realización de tomografías computadas de los fósiles y su análisis en forma digitalizada? Son varias: (1) La ventaja más obvia es la posibilidad de investigar características ocultas sin dañar el original tan valioso. (2) Una segunda ventaja consiste en que los investigadores pueden manipular el fósil de modo reversible: si el resultado de algún proceso no se considera exitoso (o contradice datos derivados de otros materiales fósiles), se puede simplemente eliminar el archivo que contiene el resultado. De hecho, se pueden realizar numerosos intentos — cada uno con una pequeña variación — de, por ejemplo, rearmado o reconstrucción. Estos enfoques repetitivos son imposibles usando un original. (3) La tercera ventaja es el análisis numérico. Se puede hallar el volumen de cualquier cavidad en el fósil simplemente contando el número de voxels dentro de la cavidad y multiplicando su suma por el volumen de un voxel. Este método ha permitido a los investigadores de la AV hallar los volúmenes cerebrales de numerosos cráneos fósiles. (4) También se puede encontrar la posición tridimensional de cualquier punto sobre o dentro de un fósil. La geometría de los fósiles de seres humanos y de sus antepasados puede ser analizada utilizando avanzados métodos estadísticos (denominados ‘morfometría geométrica’) a fin de hallar las relaciones evolutivas en el registro de fósiles humanos.

2. El glosario

- atenuación:* La reducción de la intensidad de un haz debida a algún material que lo intercepta. La atenuación se produce tanto para haces de partículas (como rayos de electrones) y haces de radiación electromagnética (consistentes en fotones, las partículas de la luz). Obsérvese que los haces de rayos X son una corriente de fotones, aunque no sean visibles. Desde un punto de vista técnico, es incorrecto hablar de la absorción de un haz: sólo algunas de las partículas del haz son absorbidas durante su pasaje a través de la materia.
- cráneo:* la calavera sin la mandíbula inferior. Plural: cráneos.
- extracción de características:* Aplicación de un algoritmo que aísla una parte de una tomografía computada que tiene propiedades características (geométricas). Por ejemplo, se trata de encontrar los bordes alrededor de aberturas haciendo que el algoritmo identifique un borde continuo, cerrado y agudo. Otra característica que se busca frecuentemente es una punta (por ejemplo, el punto extremo de la cúspide de un diente).
- filtrado:* Aplicación de algún algoritmo para separar dos o más características en una tomografía computada. Por ejemplo, se podrían separar regiones de una tomografía computada con cifras de TC que fluctúan fuertemente de aquéllas donde las cifras de TC cambian sólo en forma gradual, aplicando un algoritmo de filtro adecuado.
- fósil:* Artefacto (por lo general hallado en sedimentos geológicos) que resulta de la transformación de materiales orgánicos en minerales. Los fósiles más comunes son piezas que fueron huesos y dientes. Sin embargo, hay también fósiles que consisten en el reemplazo por minerales del tejido cerebral (llamados “endomoldes”). A veces, hasta rastros de fósiles tales como las huellas de pisadas se fosilizan (ver, por ejemplo, “Las huellas de Laetoli” en un texto popular tal como *Investigación y Ciencia*). Los fósiles de seres humanos y de sus antepasados (los “Australopitecinos”) son algunos de los fósiles más raros. Jamás se han hallado esqueletos fosilizados completos ni de seres humanos ni de sus antepasados (el famoso esqueleto fósil llamado “Lucy” no está más que un 60 % completo). De hecho, sólo hay unos veinte fósiles de cráneos casi completos. El proceso de transformar un hueso en un fósil se denomina fosilización. La *fosilización* es un proceso muy lento; se necesitan unos veinticinco mil años para la fosilización de un hueso. (Por lo tanto, no hay fósiles de 10 mil años, ni huesos de 100 mil años de antigüedad).

*generación
de superficie:*

Los voxeles que están en el límite entre los voxeles con número TC no nulo y los que tienen números TC cero en una tomografía computada, representan la superficie de un fósil en forma digital — es decir, son una representación digital de una superficie. La visualización de estas representaciones digitales de superficies (para su proyección en una pantalla de computador, por ejemplo) se lleva a cabo con algoritmos de generación de superficies.

Hounsfield:

Uno de los inventores del proceso de la tomografía computada, por el cual recibió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1979. Los valores asignados a cada voxel (es decir, los valores de voxel) en una escala adecuada se denominan números TC. Los números TC se miden, por convención, en HU (unidades Hounsfield). Con fines de calibración se asigna al aire un valor -1000 HU y al agua 0 HU; el hueso tiene aproximadamente 2000 HU, y el valor de los materiales fósiles puede ser muy elevado, hasta más de 4000 HU.

incrustación:

Los huesos yacen enterrados en el suelo, y allí se fosilizan. A menudo el material circundante (p. ej., arena o algún otro sedimento) se fosiliza junto con el hueso. El material que rodea al fósil se denomina incrustación. Cuando un fósil es recuperado de donde yace en un sedimento (su “matriz”) por quien lo descubre, por lo general se adhieren al mismo restos de la incrustación. Si el espécimen fósil es grande, las cavidades están siempre llenas con incrustaciones. (En este último caso, es imposible quitarlas físicamente). Quitar las incrustaciones es una tarea difícil (ver *segmentación*).

interpolación:

Por lo general, a los especímenes fósiles les faltan partes (que se han perdido durante el proceso de fosilización). A veces se intenta aproximar la geometría de la parte faltante diseñando un algoritmo de interpolación con el cual se intenta llenar el vacío existente entre las partes de un fósil. Se utiliza otro algoritmo de interpolación cuando el investigador desea hallar una superficie (digital) con escala más fina (p.ej., voxeles más pequeños) que la tomografía computada original.

- isovoxeles:* Los isovoxeles son cúbicos, es decir, sus dimensiones son las mismas en las tres direcciones. Casi siempre, por las condiciones en que se realiza la exploración, las dimensiones (dentro de un disparo) de un pixel (la base del voxel) son menores que el espesor de un disparo (Figura 6). Por lo tanto, los voxeles son prismas con una altura (el espesor del disparo) superior a las dimensiones en el plano del disparo. Los voxeles de una tomografía computada generada por el tomógrafo no son, por lo tanto, isovoxeles. Los investigadores aplican algoritmos de interpolación para crear isovoxeles. Un archivo de fósil digitalizado debe consistir en isovoxeles antes de que se pueda aplicar un algoritmo de representación de imagen; de lo contrario, la imagen calculada de la superficie aparecería distorsionada.
- modelización:* El proceso de diseñar modelos matemáticos que permiten al investigador predecir algunos aspectos del fósil — sea su apariencia, sus propiedades físicas (tales como resistencia mecánica), sus propiedades geométricas, o su relación (sea estadística o evolutiva) con otros fósiles.
- rearmado:* Hasta los fósiles más completos jamás se hallan en una sola pieza. Una de las principales tareas del antropólogo físico es el intentar volver a armar el fósil. Varios equipos de investigadores están actualmente intentando diseñar algoritmos de rearmado para ser aplicados a fósiles digitalizados. La ventaja de un algoritmo de rearmado está en su *reversibilidad*: si por algún motivo el rearmado se considera inaceptable, basta con descartar el archivo. El rearmado físico es irreversible (a menos que uno esté dispuesto a dañar las piezas fósiles al romper el objeto que se ha vuelto a armar). El rearmado es distinto de la *reconstrucción*. En la reconstrucción se intenta adivinar o estimar cómo eran los trozos que faltan.
- segmentación:* Es el proceso por el cual se separan dos materiales diferentes (p. ej., un fósil de su incrustación). En un entorno de AV se lleva a cabo la segmentación aplicando algoritmos de segmentación, los cuales son muy difíciles de diseñar y muy exigentes desde el punto de vista de la computación. Si la segmentación es realizada en el laboratorio por un técnico trabajando sobre el espécimen real, el proceso de segmentación suele llamarse *preparación*. Ya no es aceptable la expresión “limpiar un fósil”, ya que el término implicaría que el material quitado es suciedad — cosa que no es cierta desde el punto de vista del investigador. La incrustación es valiosa, ya que contiene las pistas físicas y químicas que permiten determinar la edad de un fósil e identificar el (paleo) entorno en el cual vivió en su momento el individuo fósil.
- umbralizar:* Es el proceso de asignar a todos los números TC menores (o mayores) que un determinado número distinto de cero el valor cero. Por ejemplo, si los voxeles de un fósil digitalizado tienen números TC en el intervalo de 1000 HU a 3500 HU, y los voxeles de incrustación tienen siempre números TC superiores a 3800 HU, se puede segmentar el fósil digitalizado de su incrustación asignando a todos los voxeles de número TC superior a 3700 HU el valor cero. La umbralización es el algoritmo de segmentación más simple.

3. Cita de un trabajo de investigación

Desde el descubrimiento del Hombre de hielo del Tirol en 1991, se han aplicado con éxito avanzadas tecnologías de generación de imágenes y de post-procesamiento a la investigación en antropología. Entre las técnicas específicas se encuentran la tomografía computada helicoidal y las reconstrucciones tridimensionales, las cuales incluyen modelado estereolitográfico y por deposición por fusión de conjuntos de datos de volumen. La calavera del Hombre de hielo fue la primera en ser generada utilizando la estereolitografía; posteriormente, se ha aplicado exitosamente al planeamiento preoperatorio. Con el advenimiento de estaciones de trabajo para gráfica con elevadas prestaciones y los paquetes de software para el procesamiento de imágenes biomédicas, las reconstrucciones tridimensionales se han convertido en herramientas de rutina para el análisis de conjuntos de datos de volumen. Estas técnicas permitieron comprender dramáticamente nuevos aspectos de la antropología física. La tomografía computada se convirtió en la herramienta de investigación ideal para acceder a las estructuras internas de algunos fósiles invalorable sin siquiera tocarlos — ni hablar de dañarlos. Entre los más valiosos se cuentan especímenes del género *Australopithecus* (1,8 a 3,5 millones de años), así como representantes de *Homo heidelbergensis* (200.000 a 600.000 años) y *Homo neanderthalensis* (40.000 a 100.000 años); en los últimos cinco años se han realizado tomografías computadas de estos fósiles. Los fósiles están rellenos con una matriz de piedra u otras incrustaciones. Durante las rutinas de post-procesamiento se aplicaron algoritmos sumamente avanzados para eliminar virtualmente estas incrustaciones (los fósiles reales no se tocan). Así se ha logrado visualizar las estructuras morfológicas ocultas por la capa matriz. Algunos especímenes han sido destruidos parcialmente, pero se ha logrado reconstruir las partes faltantes en la pantalla de la computadora a fin de obtener estimaciones del volumen cerebral y la morfología endocraneana — ambos, campos de gran interés para la antropología física. Por otra parte, los datos computarizados permiten nuevas descripciones de las estructuras morfológicas utilizando morfometría geométrica. Algunos de los resultados pueden modificar aspectos e interpretaciones de la evolución humana, así como los enfoques de cuestiones de larga data en este campo. Incorporamos estas nuevas técnicas de imagenología y post-procesamiento en un nuevo campo de investigación: Antropología virtual.

De: *New Methods and Techniques in Anthropology*
W. Recheis, G.W. Weber, K. Schäfer, H. Prossinger, R. Knapp, H. Seidler, D. zur Nedden
Collegium Antropologicum, 23, 495–509 (1999).

4. Figuras 1-6 con leyendas

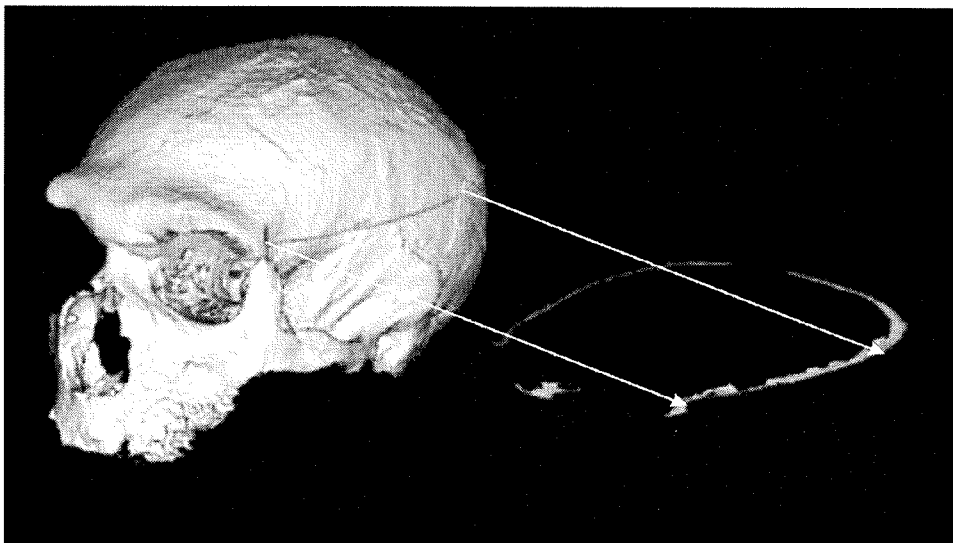


Figura 1

Tomografía computada de un cráneo fósil de Neanderthal (el cráneo es la calavera sin la mandíbula inferior). El cráneo está casi completo, cosa que torna a este espécimen en muy raro. La imagen de un disparo de la tomografía ha sido trasladada hacia la derecha (es decir, alejándose del lado izquierdo del cráneo). El disparo faltante puede verse como una delgada hendidura en la representación de la tomografía computada del cráneo. La variación de luminosidad visible en el *disparo* se debe a la variación en la atenuación de los rayos X, debida a la variación de la densidad del material fósil. Las regiones más luminosas visibles en el disparo son *incrustaciones* (ver el Glosario). Una de las tareas a realizar por el paleoantropólogo es la extracción algorítmica de dichas incrustaciones de la tomografía computada, antes de poder realizar otros análisis. En el caso particular de esta tomografía computada, se puede eliminar gran parte de la incrustación por *umbralización* (ver Figura 2).

La variación de luminosidad (que nos permite percibir la superficie como tridimensional) en la vista completa de la izquierda se debe a un *algoritmo de representación de superficies*. La superficie es una interpolación de los voxeles de superficie (que, en esta tomografía computada, deben ser isovoxeles para que el algoritmo de representación de superficie trabaje correctamente).

Cada disparo de esta tomografía computada tiene un espesor de 0,4863 mm. El tamaño total del archivo de la tomografía computada es 77,75 megabytes.

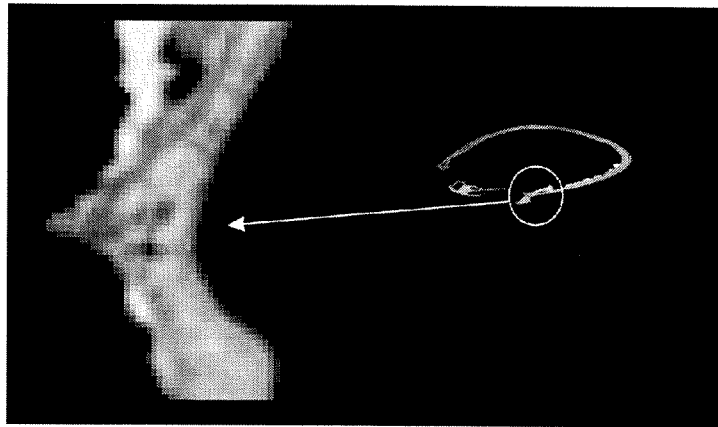


Figura 2

Esta es la tomografía computada del disparo de la Figura 1, así como un detalle ampliado $10 \times$. Se pueden identificar claramente los píxeles individuales. (¡También se puede ver una cavidad en la región nasal del cráneo!) La luminosidad de los píxeles da una medida del coeficiente de *atenuación* de los rayos X que pasan por el material fósil (hueso fosilizado e incrustación). Los píxeles más claros de este detalle son incrustaciones. Obsérvese que el límite entre incrustación y hueso fosilizado no es claro en todas partes. Si no se puede usar un algoritmo de umbralización, el investigador que trata de separar el hueso fosilizado de la incrustación debe diseñar un algoritmo adecuado que pueda detectar el límite entre los dos materiales. (El disparo de esta tomografía computada tiene 512×512 píxeles; la escala de grises tiene 8 bits de resolución.)

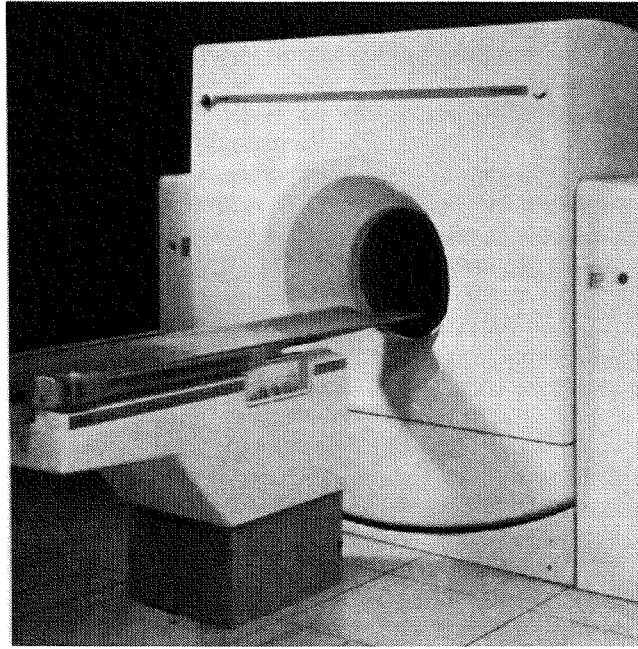


Figura 3

Fotografía de una instalación típica de tomógrafo computado de uso médico. El tomógrafo computado está dentro del alojamiento de gran tamaño con la apertura circular. El paciente (o, en el caso de la investigación en paleoantropología, el fósil en una caja) se encuentra sobre una camilla montada sobre una mesa. La camilla está hecha de un material sintético que apenas atenúa los rayos X. La camilla se puede mover hacia adelante en distancias incrementales (denominadas disparos) dentro de la apertura circular. Luego que el paciente/fósil ha sido movido una distancia incremental (es decir, el espesor de un disparo), el aparato que emite los rayos X (que no es visible por estar dentro del alojamiento) gira una vez alrededor del paciente. Un conjunto circular de detectores (también dentro del alojamiento) registra los rayos X que no fueron absorbidos durante el giro. Cumplida una revolución completa del equipo emisor de rayos X, se adelanta la camilla en un disparo y se toma una imagen de otro disparo. El investigador puede determinar por adelantado cuántos disparos del paciente/fósil se han de tomar — a veces, no hace falta realizar una exploración de todo el objeto. En la Figura 4 se muestra el tomógrafo computado que está dentro del alojamiento.

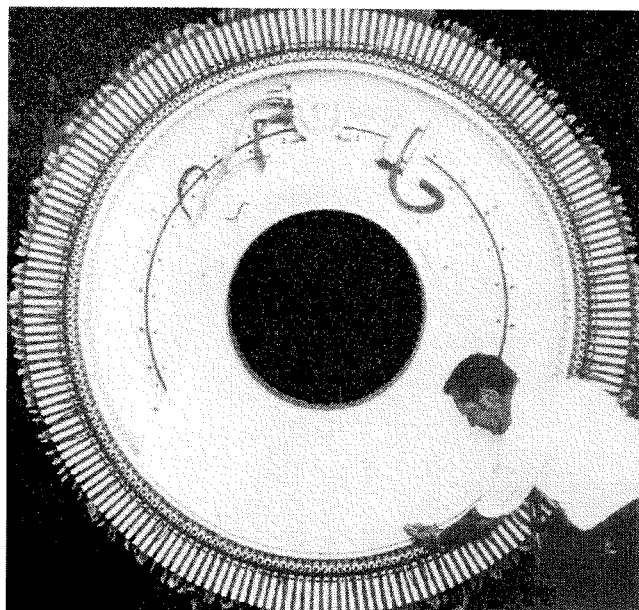


Figura 4

Fotografía de un tomógrafo computado parcialmente desarmado en el cual está trabajando un técnico. Se ha quitado el aparato emisor de rayos X. Durante la realización de la tomografía, estaría fijado en la placa que está revisando el técnico. Se pueden ver los numerosos detectores dispuestos en la periferia. Durante la operación de exploración, la placa con el aparato emisor de rayos X fijado a la misma gira alrededor del objeto explorado. La atenuación impuesta por el o los materiales de que está hecho el objeto es registrada por los detectores diametralmente opuestos.

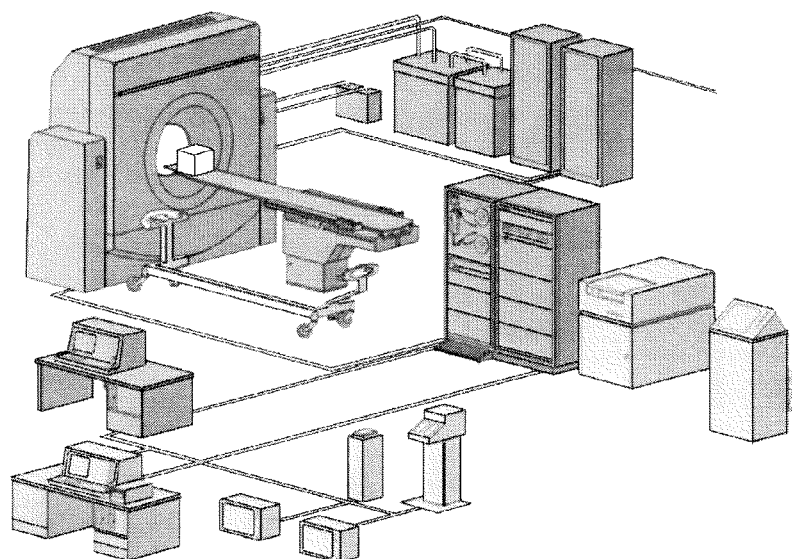


Figura 5

Tomógrafo computado típico para uso médico, junto con sus periféricos, cuando se utiliza para explorar un espécimen fósil. El tomógrafo computado (ver la Figura 4) está por comenzar a explorar el fósil (el material) que se encuentra dentro de una caja blanca. El fósil se ha colocado en una caja de cartón, de modo de poder ser mantenido en posición fija dentro de la caja con algún material blando tal como papel tisú. El material de la caja y el papel tisú casi no atenúan los rayos X. Es esencial mantener fijo el fósil dentro de la caja durante la exploración: mientras se mueve la caja (con el fósil) hacia dentro del tomógrafo, desplazándola la distancia de un disparo por vez, el equipo de investigación no quiere que se altere la orientación del fósil entre imágenes de disparos. Si el tomógrafo computado se usa con pacientes, el paciente estará acostado sobre la camilla sobre la cual está la caja que se muestra aquí. La camilla en sí puede levantarse de la mesa y ser puesta sobre una carretilla (que se muestra con ruedas) para que, una vez tomada la tomografía, el paciente pueda ser transportado nuevamente a la sala de hospital. Los periféricos de computación aparecen en un gris más claro. Obsérvese que las interconexiones entre el tomógrafo computado y los periféricos que se muestran en esta figura no son la LAN mencionada en el texto.

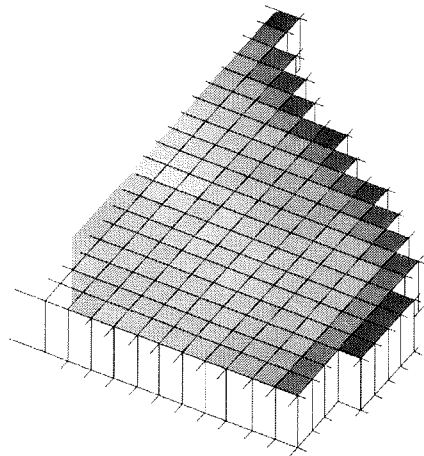


Figura 6 (a)

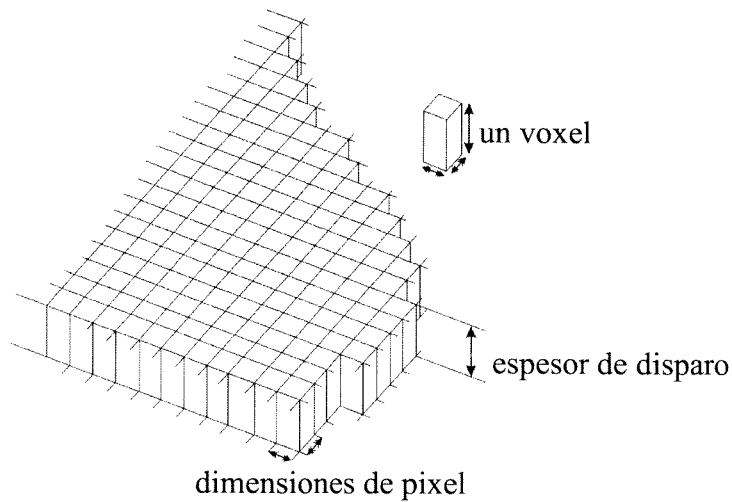


Figura 6 (b)

Esta es la relación entre espesor de disparo y altura de voxel. Mientras se toma la tomografía computada, el espesor de disparo es la distancia que se mueve el fósil hacia delante a través de la apertura circular. Luego de la reconstrucción de la tomografía computada (el archivo), el espesor de disparo se ha convertido en la altura de voxel. En (a) se ha extraído un pequeño segmento de un disparo y se ha generado su imagen. La superficie de los voxels forma el patrón de pixeles que se ve en las imágenes de disparos de tomografía computada (Figura 2). En (b) se aclara la relación geométrica entre dimensiones de pixel y altura de voxel. En la mayoría de los tomógrafos computados la resolución es de 512×512 ; es decir, cada disparo consiste en una cuadrícula cuadrada de 512 pixeles por lado. Aplicando un algoritmo de interpolación, los investigadores pueden crear iso-voxels. En éstos, la altura es igual a las dimensiones en el plano del disparo (es decir, las dimensiones de pixel).