

# Aplicaciones clínicas del procesamiento digital de imágenes médicas

*Dr. [José Miguel Selman R.](#)  
[Departamento de Neurocirugía,](#)  
[Clínica Las Condes](#)*

## Resumen

En los últimos años se ha producido un crecimiento explosivo en las tecnologías para la producción de imágenes médicas. El costo del procesamiento digital de alta capacidad se ha reducido considerablemente. Esto ha promocionado el uso de la visualización científica en muchas disciplinas donde los conjuntos de datos son complejos, ricos en calidad y sobrecogedores en cantidad. Cada vez es mayor el número de imágenes que se obtienen para caracterizar la anatomía y las funciones del cuerpo humano. Se hace indispensable la familiarización del médico con los métodos y sistemas que le permitirán analizar y manejar esta gran cantidad de información de una manera rápida y eficiente.

En este artículo se revisan algunas técnicas básicas de procesamiento digital que tienen aplicación en un ambiente clínico que cuente con tecnologías de información adecuadas. A pesar de que se muestran aplicaciones para el estudio cerebral, las mismas técnicas pueden ser utilizadas en cualquier región anatómica de la que se pueda obtener una imagen.

## Agradecimientos

Mis agradecimientos al gran número de personas, que en forma absolutamente desinteresada, me han ayudado a través de la red en la comprensión y manejo de numerosos programas para el procesamiento digital. Muy especialmente agradezco la colaboración de los Tecnólogos Médicos del Departamento de Diagnóstico por Imagen y del Departamento de Informática de Clínica Las Condes.

La visualización es una de las áreas de más rápido desarrollo en computación científica. El costo del procesamiento digital de alta capacidad se ha reducido considerablemente en años recientes. Esto ha promovido el uso de la visualización científica en muchas disciplinas donde los sets de datos son complejos, ricos en calidad y sobrecogedores en cantidad. En medicina, más que el costo, es la física de la formación de imágenes lo que ha comandado el desarrollo y crecimiento. Tradicionalmente, la práctica de la medicina ha requerido el manejo de información de diverso tipo: tacto, sonido, apariencia, olor, etc. de una manera comparable a un arte. Este arte de la medicina se hace aun más evidente cuando la terapia o procedimiento terapéutico depende de la coordinación ojo-mano del médico y es el paso final que decide el resultado de un largo y costoso proceso de investigación.

De esta manera, la visualización de la información que describe la naturaleza de la enfermedad es vital en medicina, y aun más en cirugía. A pesar de que la información basada en imágenes ha guiado siempre el proceso terapéutico, en los últimos años se ha producido un crecimiento explosivo en la calidad y cantidad de las mismas,

produciéndose dificultades para el procesamiento e integración de ellas. Todo parece indicar que esta tendencia lejos de detenerse, se irá haciendo cada vez más fuerte. Hace algunos años un tomógrafo computarizado (TAC) demoraba casi dos minutos en producir un corte anatómico de un centímetro de grosor. Un estudio de cerebro estaba constituido por aproximadamente 12 cortes. Hoy, una TAC helicoidal multicorte puede producir imágenes a razón de 32 por segundo, y dependiendo de la resolución con que se esté trabajando, pueden producirse 100 a 200 cortes por cada volumen cerebral, con un grosor que puede llegar a 0.5 mm. Si consideramos que el estudio de algunas patologías requiere de varias modalidades de examen para la misma región anatómica, no es raro encontrar que algunos sets de datos pueden estar constituidos por varios miles de imágenes. Hoy no es raro ver en la consulta pacientes a los cuales se les ha practicado TAC, angio TAC, resonancia magnética (RM), angio resonancia, angiografía convencional digital, SPECT, ECO Duplex, etc... Todas estas imágenes suelen pesar varios kilos, en placas difíciles de transportar, y cuya revisión es larga y tediosa. La revisión de los antecedentes puede tardar mucho, y está sujeta de esta manera a frecuentes errores y omisiones. El paradigma de integración de la información es muy influyente en el resultado de todo el proceso terapéutico, por lo que las herramientas que faciliten esta integración tienen un resultado inmediato en la calidad de la atención. Es por esto que la comprensión y la utilización de las herramientas adecuadas por parte de la comunidad médica, son fundamentales para aprovechar el desarrollo que ha significado la incorporación de las diversas tecnologías de imágenes.

En este artículo deseo revisar las técnicas básicas que permiten aprovechar mejor la información contenida en los estudios de imágenes; centrado básicamente en la exploración de la patología neuroquirúrgica, que ha sido siempre un motor impulsor del desarrollo por lo compleja que es la caracterización y exploración del cerebro. Así como la visualización de las imágenes es un aspecto del problema, no menos importante es la interacción entre el médico y la información contenida en ellas. Es aquí donde el desarrollo y culminación de la tecnología de la información gráfica han tenido y tendrán el mayor impacto. La colaboración estrecha entre médicos e ingenieros ha creado un sinergismo que ha permitido desarrollar sistemas de interacción virtual y de feedback táctil que tienen y tendrán un gran impacto en la medicina.

## **Sistemas de visualización**

En medicina, debido a la inherente complejidad de visualización de la información en los datos, se han desarrollado diferentes conceptos de visualización en la medida que las tecnologías que los permiten se han hecho accesibles. Estos pueden ser agrupados en varias generaciones.

Los sistemas de primera generación son esencialmente el despliegue de ondas unidimensionales como las que se utilizan en los sistemas de monitoreo de pacientes. Electrocardiograma, presión arterial, presión intracraneana.

Los sistemas de segunda generación realizan procesamiento y despliegue de imágenes bidimensionales. Líneas de contorno y stacks de contornos que pueden representar estructuras tridimensionales fueron desarrollados durante este período. La mayoría de estas técnicas están actualmente obsoletas.

La tercera generación de sistemas envuelve el procesamiento tridimensional y visualización. Las técnicas de iso-superficie y rendición de volumen se desarrollan en la medida que los sistemas computacionales son capaces de manejar la gran cantidad de información requerida.

Una cuarta generación procesa datos multidimensionales como sets volumétricos dinámicos, llamados 4D. La cuarta dimensión puede ser cualquier otro parámetro asociado a datos volumétricos, como seguimientos a lo largo del tiempo.

Los sistemas de quinta generación son aquellos de visualización de realidad

virtual, que combinan datos multidimensionales con interacción tridimensional (1).

La próxima generación, en pleno desarrollo, agrega el feedback sensorial, donde el usuario, interactuando con las estructuras, puede sentir las propiedades físicas del material, posibilitando el entrenamiento en procedimientos intervencionistas y quirúrgicos. Aquí, la calidad y la velocidad de presentación de la información son críticos, al igual que el paradigma de integración. La tele-cirugía en que un cirujano opera a un paciente a distancia es un ejemplo de que ya hay algunas experiencias iniciales, especialmente diseñadas para la cirugía de guerra.

## Imágenes médicas

Hace un poco más de cien años que se descubrió cómo hacer una imagen del cuerpo humano combinando la fotografía con los rayos X. El premio Nóbel de Física se le otorgó a W. Roentgen en 1901 por este descubrimiento. La combinación de los rayos X y la tecnología computacional producen en 1971 la primera imagen de TAC (Fig. 1), lo que le valió a su inventor, Godfrey Hounsfield, el Premio Nóbel de Medicina en 1979. Así mismo, Felix Block & Edward Purcell descubrieron en 1946 que los núcleos atómicos absorben y reemiten energía de radiofrecuencia, fundando las bases de la resonancia magnética. En 1952 ambos comparten el Premio Nóbel de Física. La formación de imágenes por resonancia magnética es muy reciente, y su origen es controvertido ya que por ser un método más complejo, fueron varias las contribuciones. Raymond Damadian fue quien demostró que los tejidos tumorales tienen una señal más alta que los tejidos normales en RM, y fue quien introdujo la RM en el ámbito de la medicina. En 1973 se publicó un corto trabajo en la revista Nature titulado "Formación de imágenes por interacción local inducida. Ejemplos utilizando resonancia magnética" Su autor era Paul Lauterbur, profesor de Química en la Universidad Estatal de Nueva York. Los primeros equipos para aplicación clínica fueron instalados en 1983, apenas hace 20 años.

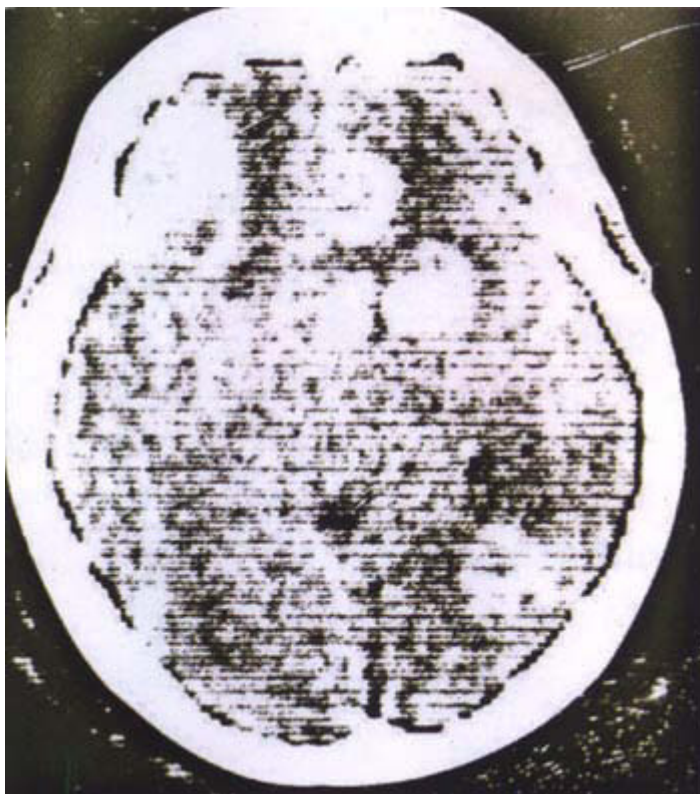


Figura 1: Imagen de la primera tomografía computarizada (TAC) obtenida con el EMI scanner en 1971, demostrándose varias metástasis cerebrales. Su aplicación clínica comenzó en 1973. En Chile el primer tomógrafo se instaló en 1978 en el Centro Scanner.

Una imagen digital es un conjunto de números secuenciales a los que se agrega una descripción de lo que ellos representan y el formato en que esta información está codificada. Un concepto introducido por las tecnologías digitales es el de "píxel" (contracción del inglés PICTure ELeMent). Cada píxel es la representación de un punto en el plano en una imagen bidimensional. El conjunto ordenado de píxeles forman una imagen. Mientras mayor es el número de píxeles, mejor es la calidad de la representación de la realidad, lo que se conoce como resolución espacial. Si consideramos que en la adquisición se está reconociendo un grosor de corte, debemos aceptar que cada píxel tiene una tercera dimensión. De allí que en realidad cada número representa un volumen, y por lo tanto se comienza a hablar de "voxel" (VOLume ELeMent). De esta manera, al agrupar a la manera de una torta ("stack") un grupo de imágenes bidimensionales, se obtiene una base de datos que representa una realidad tridimensional (Figura 2). Durante los primeros años del desarrollo de las tecnologías de imagen, los formatos de representación interna de la información formaban parte de un secreto celosamente guardado por los fabricantes de equipos. Sin embargo, ya desde 1977 Patrick Kelly vislumbró la posibilidad de utilizar la información intrínseca de las imágenes con el fin de su utilización directa en la planificación de un acto quirúrgico estereotáxico. Para esto se hizo necesario el poder sacar la información desde el formato propietario de la empresa del tomógrafo para poder utilizarlo en el software generador del planeamiento quirúrgico.

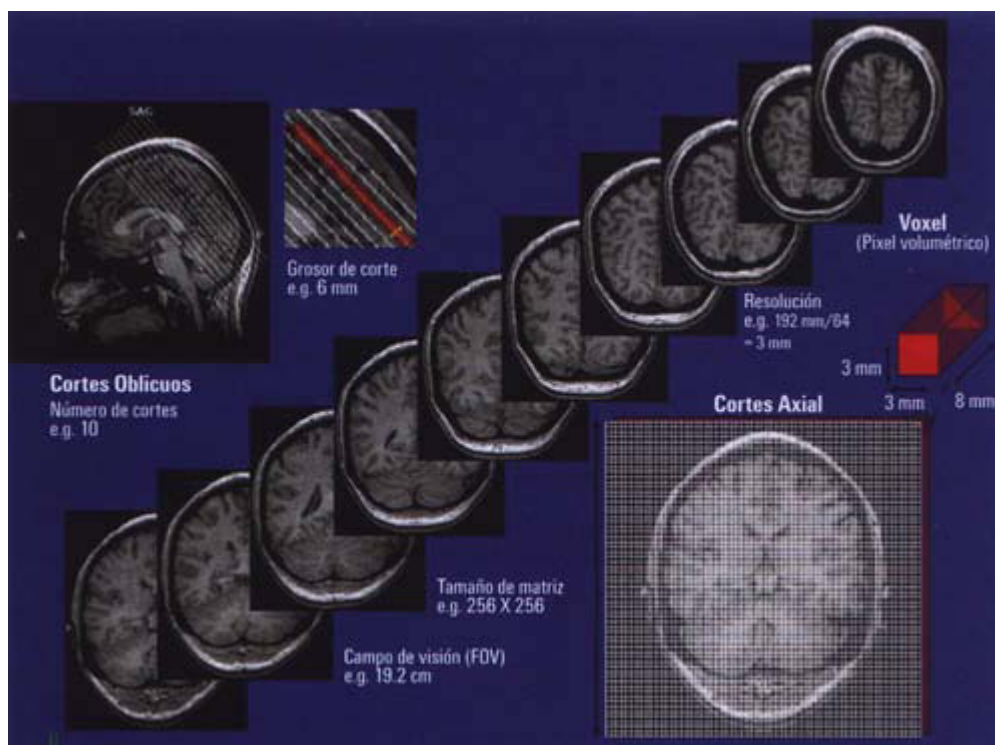


Figura 2: Un concepto introducido por las tecnologías digitales es el de "píxel" (contracción del inglés PICTure ELeMent). Cada píxel es la representación de un punto en el plano en una imagen bidimensional. El conjunto ordenado de píxeles forman una imagen. Mientras mayor es el número de píxeles, mejor es la calidad de la representación de la realidad, lo que se conoce como resolución espacial. Si consideramos que en la adquisición se está reconociendo un grosor de corte, debemos aceptar que cada píxel tiene una tercera dimensión. De allí que en realidad cada píxel representa un volumen, y por lo tanto se debe hablar de "voxel" (Volume Element).

Con el tiempo, la globalización hizo absolutamente necesaria la incorporación de un estándar de comunicación que permitiera el libre tráfico de imágenes entre los diversos sistemas que requieren de la utilización directa de la información digital. El desarrollo de Internet permitió además que muchos ingenieros y físicos médicos reunieran la información y publicaran en la red los elementos esenciales de cada formato propietario, de manera de poder decodificar las imágenes y su posterior utilización. (ver <http://www.dclunie.com>). Al surgir la necesidad imperiosa de comunicación surgió DICOM, un estándar creado por la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y mantenido en colaboración con la RSNA (Radiological Society of North America). Esencialmente es un protocolo de comunicación diseñado para trabajar en red, que permite definir algunos elementos esenciales del formato de las imágenes y

que los fabricantes se comprometen a respetar al menos al momento de transmitir a través de una red o al grabar en medios físicos. Se trata de un estándar evolutivo, que se modifica anualmente para permitir el progreso y la incorporación de nuevas tecnologías y modalidades. Es muy importante señalar que el hecho de que un sistema sea compatible con el estándar DICOM no garantiza la comunicación completa entre equipos. Al estar evolucionando continuamente, las aplicaciones que dependan de la transmisión de imágenes deben actualizarse (2).

Una imagen DICOM está formada por un encabezado que la identifica como tal y que contiene la información demográfica y técnica de la adquisición. En este encabezado aparte de la información contenida en el estándar hay una gran cantidad de espacio reservado para que cada fabricante agregue la información que sea relevante para su propio desarrollo, y es allí donde se producen un buen número de incompatibilidades. Luego del encabezado viene la representación de los datos propiamente tales, codificados como números de 16 bits (2 bytes) (Fig.3). Generalmente se ocupan sólo 12 bits, lo que permite la generación de 2048 tonalidades de gris en la imagen final.

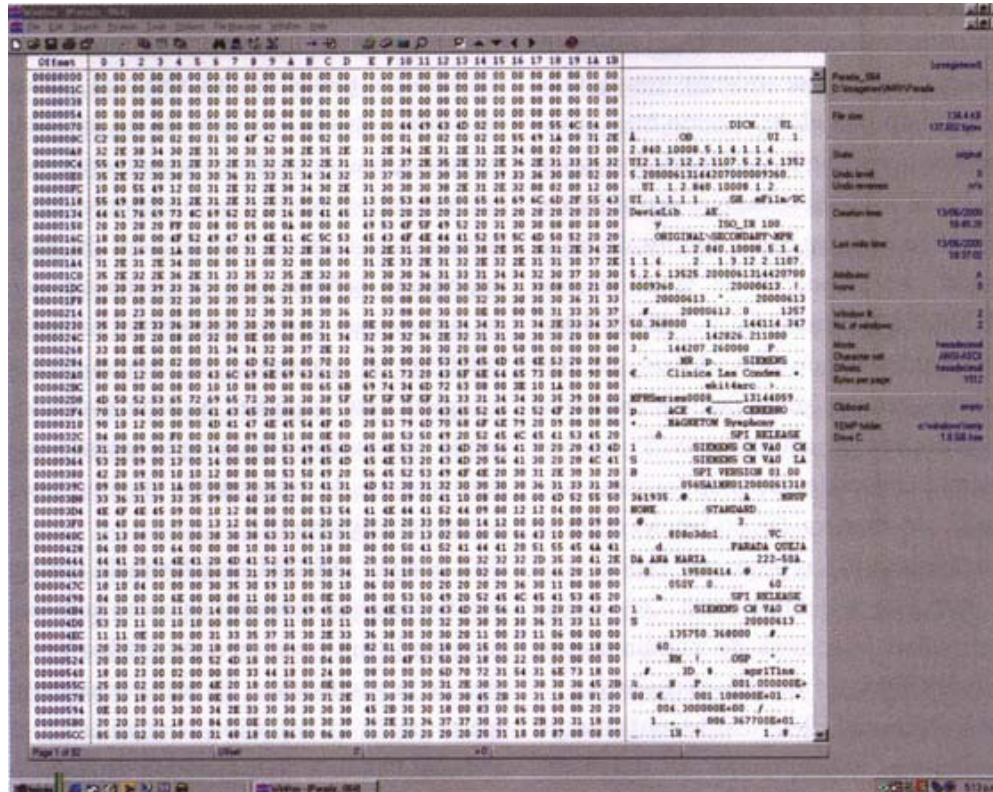


Fig.3: Encabezado numérico de imagen DICOM con su traducción literal a la derecha de la imagen. Más adelante en el archivo vienen los números que representan directamente los voxeles de la imagen.

La primera transmisión DICOM en Clínica Las Condes se hizo en Agosto de 1999 desde el TAC helicoidal recientemente instalado. Desde entonces, las imágenes se han almacenado digitalmente y están disponibles para su procesamiento.

Una imagen digital es mucho más que una reproducción fotográfica en una placa. Contiene información matemática de densidades o intensidades, con un elemento topográfico muy preciso. Puede ser manipulada para ver más de lo que se ve a simple vista (ventanas, magnificación, filtros, etc.). Si consideramos que cada voxel corresponde a un volumen en el espacio real, se pueden reformatear y hacer reconstrucciones tridimensionales. Con el software adecuado se pueden utilizar para planificación y navegación. Mediante estudios comparativos se pueden hacer seguimientos precisos en el tiempo aplicando técnicas de volumetría ya sea manual o automatizada. La incorporación de la RM con sus múltiples variables y la información bioquímica que es posible obtener puede ser procesada de múltiples formas. Así es posible obtener información sobre el funcionamiento del cerebro, la composición química de los tumores e incluso información sobre los haces y vías de conexión que forman la sustancia blanca.

Al contar con los medios para superponer la información proveniente desde diversas modalidades de imagen se agrega una dimensión adicional a los datos. Por ejemplo, la TAC es insuperable para la representación de la anatomía detallada del hueso, pero la RM la supera ampliamente en la resolución de tejidos blandos. Hay muchas situaciones en las que la combinación de la información de ambas tecnologías es necesaria para poder planificar adecuadamente un acto quirúrgico. Esta combinación de imágenes provenientes de distintas modalidades se denomina correregistro y añade una valiosa dimensión adicional a la información.

## Técnicas de procesamiento digital

A continuación revisaremos una serie de técnicas de procesamiento digital de imágenes médicas cerebrales, algunas de las cuales también tienen aplicación en otras áreas del organismo. Todas estas técnicas han sido aplicadas en Clínica Las Condes a partir de imágenes obtenidas en pacientes o voluntarios y procesadas con software libre, con código fuente abierto, desarrollado en centros universitarios de excelencia y que se desarrollan con la colaboración de cientos de personas e instituciones a lo largo del mundo. Es digno de destacar este proceso de empuje universal a través de los canales de información de Internet, que en la más pura tradición de la ciencia al servicio del conocimiento, obliga a los usuarios a publicar y a hacer disponibles cualquier mejora introducida en el código fuente de los programas. En un ambiente dominado por empresas que quieren dividir al mundo entre gente buena y "piratas" es destacable que se genere este ambiente de colaboración que contribuye a un desarrollo muy acelerado y de enorme calidad.

## Corregistro

El correregistro es la determinación de las transformaciones espaciales necesarias para obtener correspondencia de puntos homólogos entre imágenes de la misma o diversa modalidad, o entre imágenes y el espacio real. En la práctica, significa que una vez que las imágenes están correregistradas, hay una correspondencia punto a punto en la representación de las estructuras anatómicas.

Este correregistro puede realizarse entre imágenes de la misma modalidad, como cuando se quiere seguir una lesión en el tiempo, correregistrando una TAC con otra tomada meses después. O puede ser Intermodal, lo que permite combinar la información contenida por ejemplo en la RM y en la TAC como fue señalado previamente (Fig.4). El correregistro entre las imágenes y el espacio real es la técnica básica de la navegación quirúrgica, donde mediante un sistema de seguimiento en tiempo real se puede seguir una representación de los instrumentos en el campo operatorio. Para este correregistro se puede utilizar un sistema de marcas autoadhesivas en la piel durante la adquisición de las imágenes, que informan al computador de la localización en el espacio real (Fig.5). En técnicas más recientes el barrido con un láser de los contornos de la piel produce esta información. El principal problema que se encuentra actualmente en amplia investigación, es cómo se presenta la información. Por muy completa que sea la presentación en la pantalla del computador, ésta obliga al cirujano a sacar la vista del campo operatorio en forma transitoria y luego volver al microscopio. Es aquí donde los sistemas de visualización cobran plena vigencia y donde la creación de un sistema práctico de "realidad aumentada" es necesaria. En éstos, la imagen de la realidad se combina con datos extraídos de las imágenes en un sistema de visualización de tipo "head up display" como los utilizados en aviación. Con esto se puede ver la imagen de un tumor a través de la superficie, o identificar diferencias en tejidos que a simple vista no son evidentes.

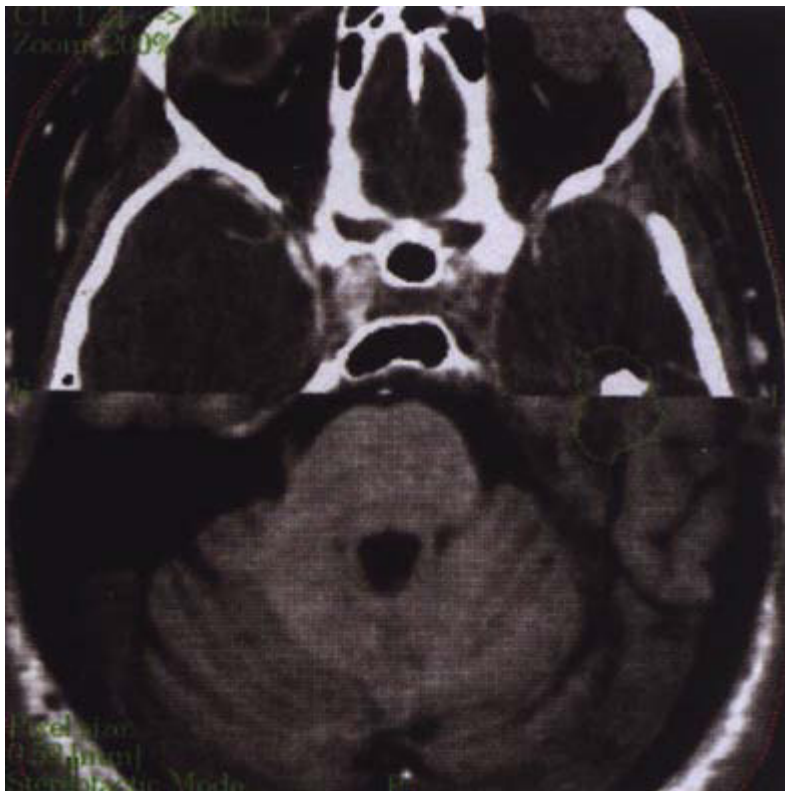


Figura 4: Corregistro Intermodal. Se ha corregistrado una imagen de RM con una TAC del mismo paciente portador de una malformación arteriovenosa a fin de planificar un tratamiento de radiocirugía. Hay diversas maneras de representar el corregistro en forma interactiva. En la figura, la TAC está en la parte superior y la RM en la parte inferior de la imagen. En el computador se desplaza este horde con el ratón para revelar la información de una y otra modalidad. Nótese la calcificación en la TAC, invisible en la RM.

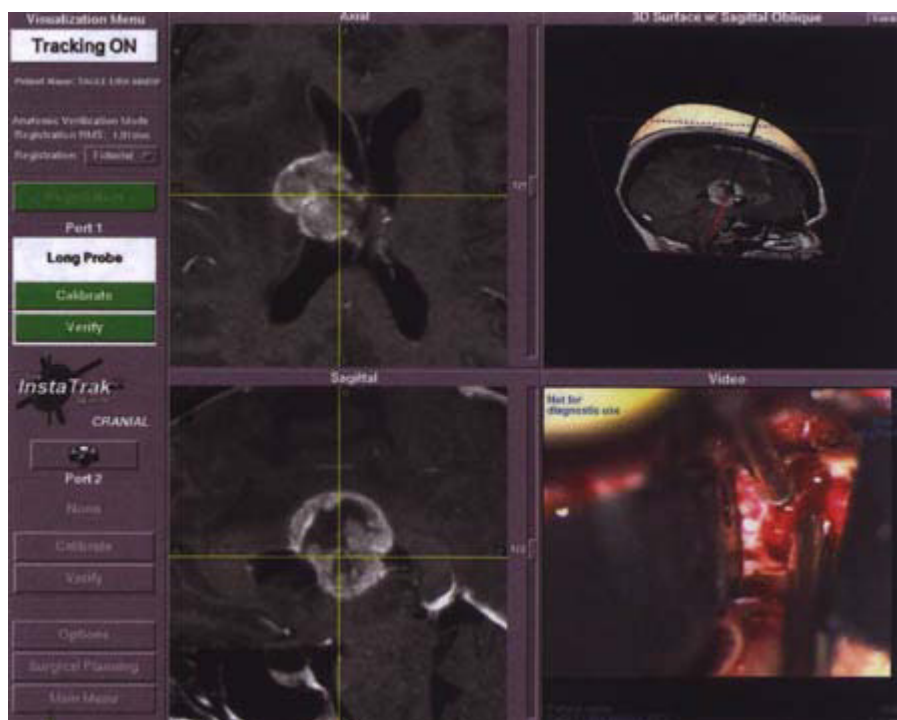


Figura 5: Pantalla del Navegador durante la cirugía de un tumor profundo. En la representación tridimensional arriba a la derecha puede apreciarse la ubicación del indicador en el interior del tumor. Las dos imágenes de la izquierda son cortes corona) y sagital de la RM, y abajo a la derecha la visión del video a través del microscopio operatorio. De esta manera se integra en una sola pantalla información relevante en tiempo real.

Otra de las aplicaciones importantes del corregistro es la capacidad de integrar a las imágenes la información proveniente de atlas anatómicos con el fin de clasificar las localizaciones en el cerebro de manera uniforme. Aquí la variabilidad de la forma del cerebro de una persona a otra hace que sea necesario recurrir a técnicas de deformación de las imágenes para así lograr una equivalencia. Estas deformaciones se conocen técnicamente como "warping" (3). El atlas cerebral más conocido es el de Talairach, creado para las localizaciones funcionales en cirugía estereotaxica en los años 60. Tiene limitaciones muy claras debido a que se trata de un cerebro proveniente de una mujer mayor, alcohólica y con claros signos de involución cerebral (Figura 6). Por esta razón, en los últimos años está cobrando importancia como cerebro estándar el producido en el Montreal Neurological Institute a partir de la promediación de numerosas imágenes de cerebros de voluntarios.

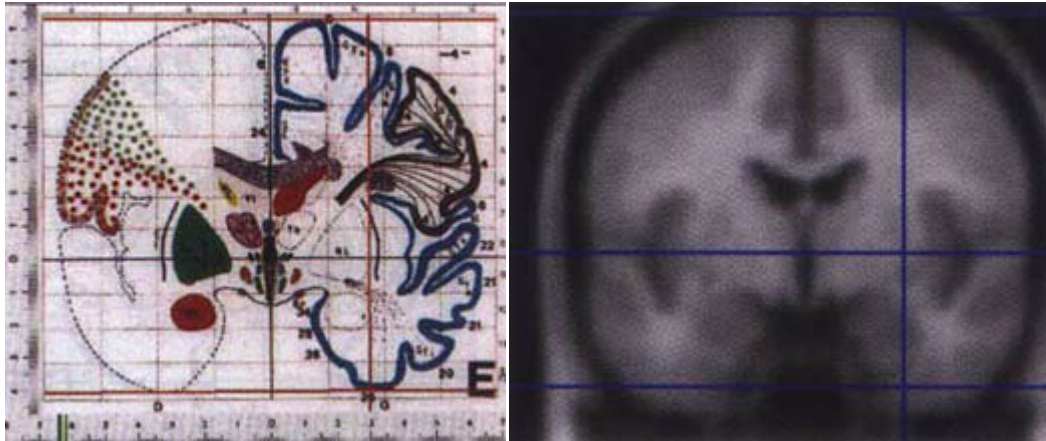


Figura 6: Atlas de Talairach y su representación digital suavizada para ser utilizada como patrón en las deformaciones necesarias para normalizar las imágenes de un cerebro. Una vez hecha la transformación se pueden determinar las coordenadas de acuerdo al Atlas de Talairach en cualquier punto del cerebro, esencial para permitir una transmisión uniforme de resultados en trabajos de investigación.

## Segmentación

Un paso importante para distinguir órganos, tumores, o cualquier detalle anatómico es la segmentación. Esto consiste en asignar a cada píxel una clasificación sobre el tipo de tejido que éste representa. Con esta información se puede posteriormente definir las superficies de los órganos o lesiones de manera de poder hacer una reconstrucción tridimensional. Al inicio, la segmentación se realizaba en forma manual, delineando las estructuras en la pantalla corte a corte.

Este procedimiento es extremadamente largo y tedioso, y sujeto a subjetividades del operador. Aún hay lesiones que por la sutileza de las diferencias con el tejido vecino deben ser marcadas manualmente. Sin embargo, en años recientes se han desarrollado herramientas muy poderosas, capaces de dar origen a segmentaciones automatizadas o semiautomatizadas. En el caso particular del cerebro hay programas capaces de establecer claramente mapas de segmentación de sustancia blanca, sustancia gris y líquido cefalorraquídeo en forma completamente automatizada a partir de una adquisición volumétrica de RM. (Figura 7). Con estos datos se puede posteriormente hacer una reconstrucción tridimensional muy precisa, que permite una visualización muy clara e interactiva para la planificación del tratamiento. La gran ventaja del procedimiento automático es que es independiente del operador, y permite seguimientos cuantitativos temporales, muy importantes en los casos de atrofia cerebral. En esclerosis múltiple la segmentación automática de las placas de desmielinización permiten establecer en forma objetiva la carga lesional, importante para el seguimiento y evaluación de resultados de la terapia.



## SEGMENTACIÓN

Image: ..1Motor/ManoDrecha/s505751A-0003.00001-000343.img

<b>Means:</b>	55.4184	712363	25.1991
<b>Std devs:</b>	7.8091	5.3395	8.892
<b>N vox:</b>	0.14886	0.10782	0.09782

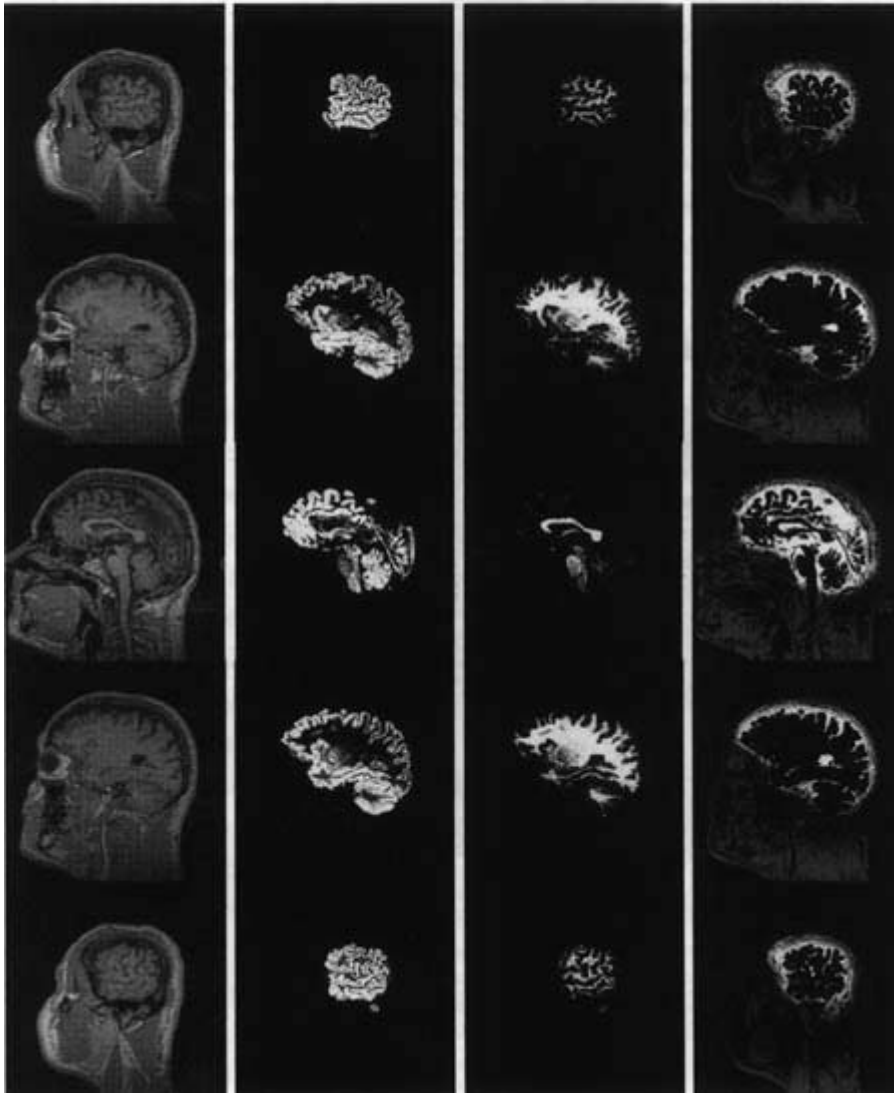


Figura 7: Segmentación automatizada de sustancia gris, sustancia blanca y LCR a partir de RM volumétrica de alta resolución.

Por la compleja anatomía del sistema nervioso central, y especialmente de la corteza cerebral con su patrón de surcos y circunvoluciones tan variable, la segmentación de la sustancia gris es un procedimiento que requiere múltiples procedimientos matemáticos, a fin de poder clasificar correctamente los píxeles. Especialmente difícil son las zonas de aposición de una superficie cortical con la adyacente en los surcos. Mediante el trabajo conjunto de médicos e ingenieros del Massachusetts Institute of Technology se han producido programas capaces de reconstruir la corteza cerebral de manera muy precisa. El proceso normalmente tarda alrededor de cuatro a seis horas en un PC Pentium 4 de 2 GHz, pero es totalmente automatizado y sólo requiere de intervención cuando por algún artefacto de la imagen, o por la presencia de patología muy evidente, se generan errores en el reconocimiento de las estructuras. En aquellos casos hay que introducir cambios en los parámetros por defecto y volver a procesar. Los resultados son impresionantes, y la correlación con la anatomía intraoperatoria es extremadamente detallada (Figura 8 y 9).

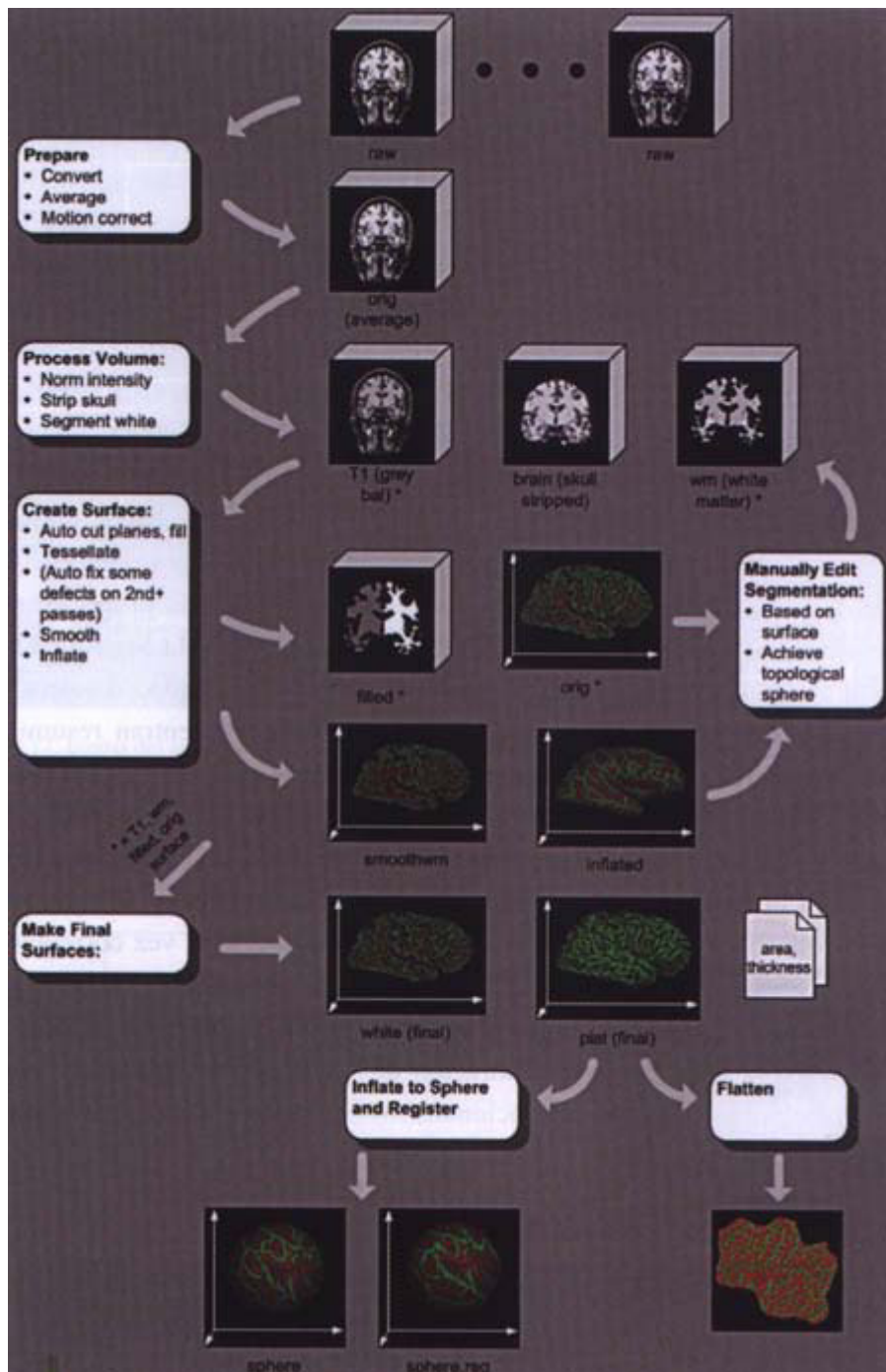


Figura 8: Diagrama de flujo de las operaciones realizadas por el programa FreeSurfer para la reconstrucción de la corteza cerebral. Luego de obtener una recreación anatómica 3D puede generar un mapa aplanado para generar coordenadas estándar de referencia como los paralelos y meridianos de la superficie terrestre.

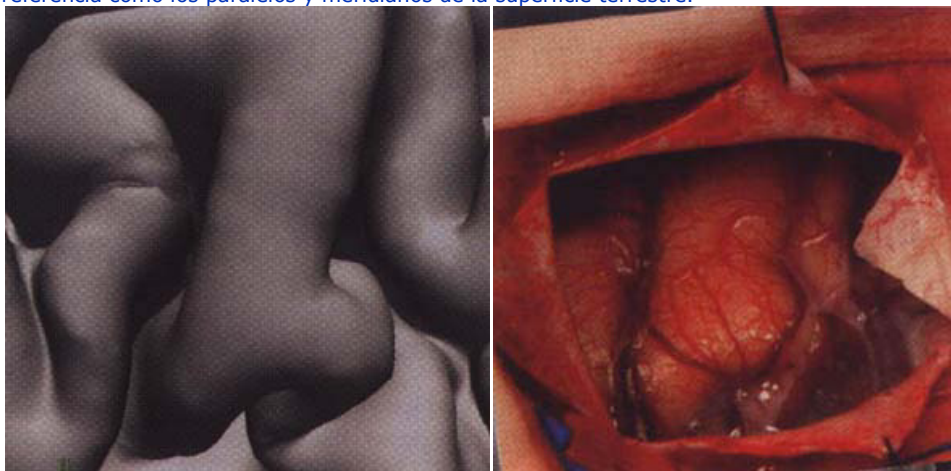


Figura 9: Reconstrucción 3D a partir de los datos procesados en FreeSurfer. La fotografía operatoria muestra la exacta correlación entre la reconstrucción y la porción expuesta de corteza cerebral en la cirugía.

## Visualización tridimensional

El término se refiere a la transformación y despliegue de objetos tridimensionales de manera de representar efectivamente su naturaleza tridimensional. Esto va desde sistemas de gráficos sombreados de manera de simular en dispositivos bidimensionales como la pantalla del computador la anatomía 3D, hasta sistemas estereoscópicos que requieren del uso de anteojos especiales. El término "visualización" también incluye implícitamente la capacidad de manipular y analizar la información desplegada. Esta capacidad supone una velocidad de respuesta en el procesamiento y despliegue de las imágenes por el sistema a un dispositivo de entrada como un ratón o bastón de manera de que el usuario lo perciba como una respuesta instantánea a sus acciones. Una velocidad aceptable es de 15-30 cuadros por segundo, por lo que el sistema debe ser capaz de computar cada nuevo cuadro en 75 milisegundos o menos. Afortunadamente las capacidades de los computadores personales en los últimos años, especialmente estimulados por el desarrollo de los videojuegos, han crecido en forma exponencial.

Con la incorporación de hardware de procesamiento de video esto es posible en computadores relativamente económicos, con lo que se pueden aplicar a la visualización e interacción con imágenes médicas. La creación de superficies tridimensionales es un procedimiento complejo que implica el reconocimiento de lo que se llama iso-superficie y creación de un sistema de polígonos que forman dicha superficie codificados numéricamente. Posteriormente se agrega una textura, iluminación y punto de vista con lo que se genera la imagen en perspectiva. La mayoría de estos procesos en los computadores actuales los realiza la tarjeta de video, con lo cual se aprovecha al máximo la capacidad de la CPU liberándola de la creación gráfica (Figura 10 y 11).

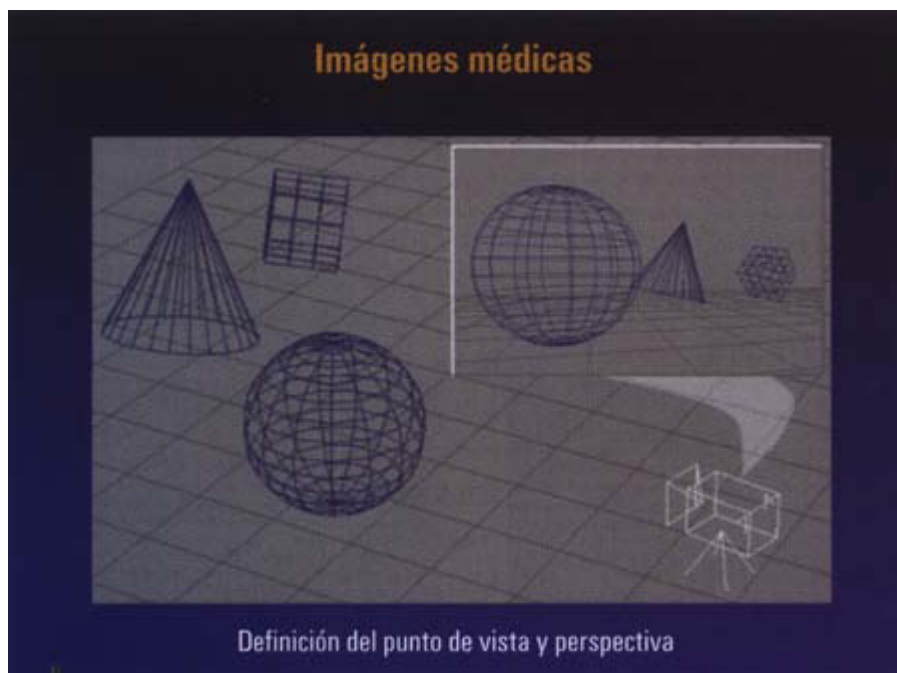


Figura 10: Creación de figuras mediante el empleo de polígonos para generar las superficies, a lo que se agrega ubicación en el espacio, iluminación, textura y punto de vista.

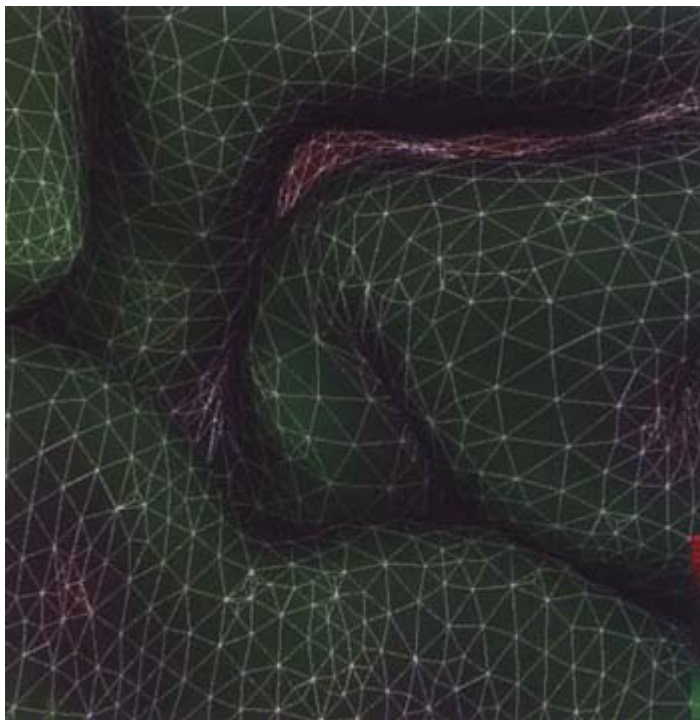


Figura 11: Detalle de la formación de una imagen 3D de la superficie cerebral. Se ha sobrepuesto la malla de polígonos con la que se computa la superficie para su despliegue por el hardware de video. Una representación de la corteza cerebral completa puede estar formada por varios millones de triángulos, lo que hoy está dentro del alcance de un computador personal bien equipado.

## Resonancia magnética funcional

Desde fines del año 2000 se encuentra en desarrollo en Clínica Las Condes un trabajo multidisciplinario para la implementación de la RM funcional. Los resultados de dicha experiencia forman parte de una comunicación separada que será sometida para publicación a fines de marzo del presente año.

Se trata de una técnica que se empezó a desarrollar a comienzos de los años 90, y que aprovecha la propiedad del tejido cerebral de aumentar localmente la circulación y por lo tanto la concentración de oxihemoglobina en el tejido funcionalmente más activo. Una técnica conocida como BOLD (blood oxygen level dependent), es capaz de detectar pequeños cambios en la concentración de oxihemoglobina tisular y formar una imagen. Mediante técnicas de adquisición muy rápida y la realización por parte del paciente de determinadas tareas sujetas a tiempos muy precisos se puede determinar en qué partes del cerebro se ha producido esta diferencia en la señal.

Con el fin de dar validez estadística a los cambios de señal y separar las actividades que se puedan haber producido por azar, se realizan una gran cantidad de imágenes, las que luego son procesadas con un método llamado SPM (Statistical Parametric Mapping). El método requiere de varias etapas que se encuentran resumidas en la figura 12. Durante la realización de un paradigma funcional se pueden generar alrededor de 7500 imágenes por lo que el procesamiento requiere de toda la automatización posible. Una vez corregido el movimiento del paciente, la prueba estadística se aplica voxel por voxel a lo largo del tiempo que dura el paradigma. Los voxeles que pasan la prueba estadística y que muestran una correlación positiva con la tarea realizada son calificados como activos y superpuestos en color mediante corrección a una imagen cerebral de alta resolución. Se puede asimismo representar sobre la superficie cerebral reconstruida tridimensionalmente, con lo cual la información anatómica se enriquece con la adición de información funcional. La naturaleza de la función realizada por el paciente es la que define el territorio que se activa. Las áreas más simples de representar son las de la corteza motora primaria (Figura 13). El lenguaje y otras funciones superiores tienen una representación más extensa y su análisis es más complejo, pero dependiendo del paradigma empleado se pueden tener representaciones muy precisas de las zonas activadas (Figura 14).

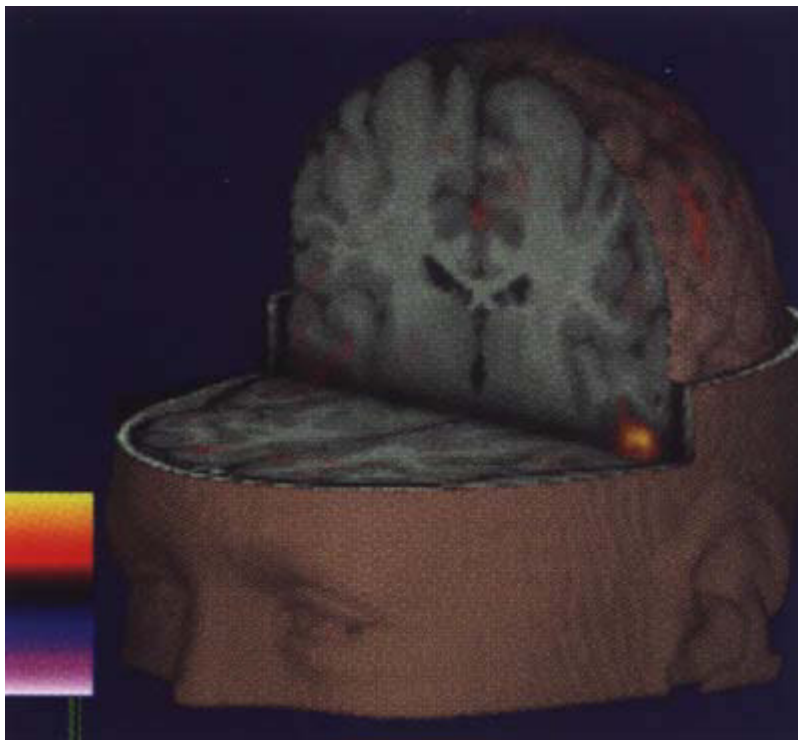


Figura 12: Etapas del análisis de un set de imágenes de RM funcional. Realineación, normalización, suavizamiento con un kernel Gaussiano y aplicación del modelo general lineal. Con esto se genera un mapa estadístico que permite separar la señal del ruido y desplegar las activaciones (de un Slide del curso sobre el uso del software SPM, Wellcome Department of Imaging Neuroscience).

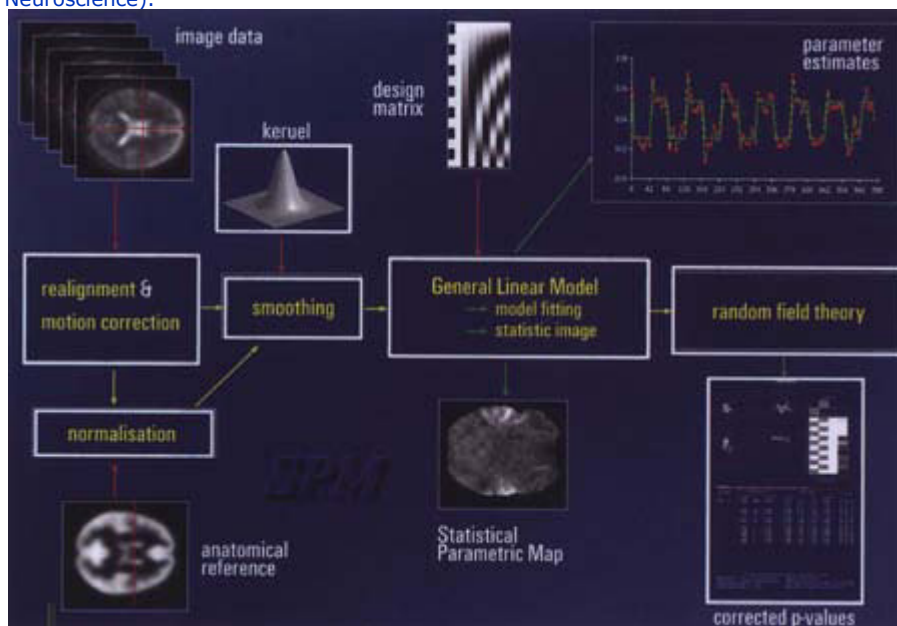


Figura 13: Resonancia magnética funcional realizada en Clínica Las Condes, obtenida durante el movimiento alternante de los dedos de la mano izquierda, identificándose luego del procesamiento una muy clara activación en el área motora primaria del hemisferio derecho.

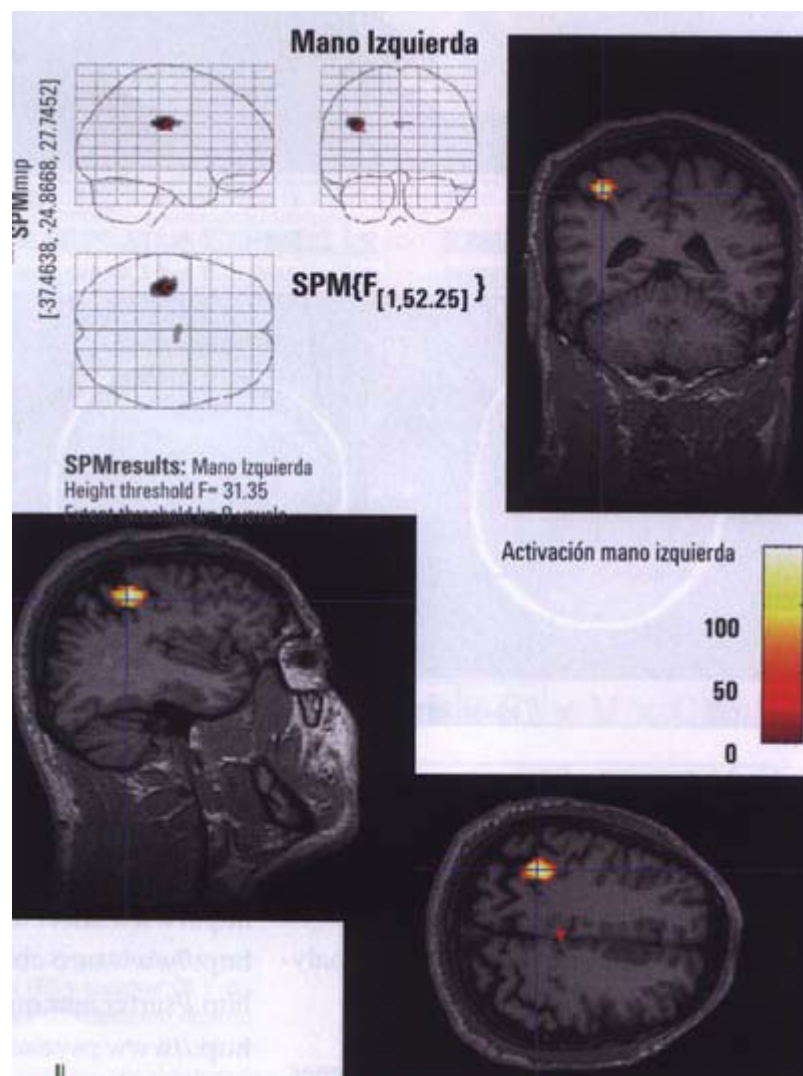


Figura 14: Activación de lenguaje en el lóbulo temporal izquierdo en una reconstrucción tridimensional del cerebro con una técnica de extracción de cubo para mostrar mejor la profundidad a la cual se extiende la función.

El método tiene sus limitaciones, ya que se trata de detectar cambios en la circulación local en respuesta al desarrollo de una tarea y no una detección directa de la actividad eléctrica cerebral. Sin embargo, numerosos estudios validan su aplicación clínica en diversas patologías. Es indudable que es una sobre-simplificación el asignar a un área restringida del cerebro el desarrollo de una tarea, ya que siempre la corteza interviene como un todo. Sin embargo, hay áreas funcionalmente especializadas de la corteza que son fundamentales en la generación de determinadas tareas, y es en la identificación de estas áreas donde la utilidad del método es considerable.

## Conclusión

El gran potencial de estos sistemas de información gráfica para el desarrollo de la medicina recae en la interacción directa del médico con la experiencia sensorial. El acceso a dichos medios y el entrenamiento en su uso son una responsabilidad formativa que no puede ser eludida por quienes constituyen el último eslabón en la entrega del tratamiento. El acceso a la información digital contenida en las imágenes es un derecho de los médicos tratantes, que nos obliga a replantear cómo manejamos esta información. Ya cada día es más frecuente que en los centros radiológicos se entregue al paciente un CD con su examen. Lo que aún no es frecuente, es que los médicos tratantes tengan un método para revisar, procesar y analizar dicha información en forma expedita. El desarrollo de las habilidades para el análisis y la utilización de toda la información contenida en ellas es una obligación para con nuestros pacientes.

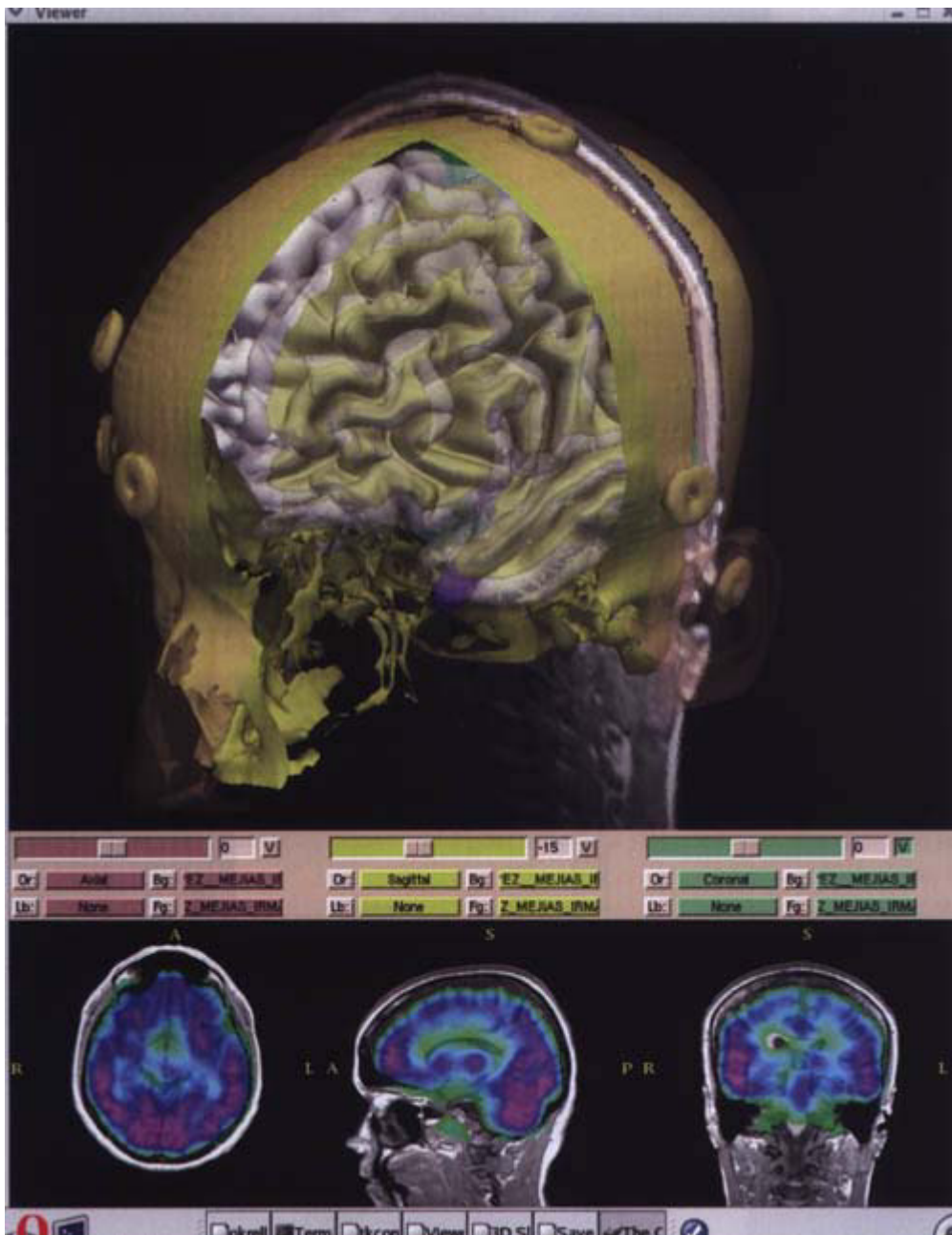


Figura 15: Reconstrucción tridimensional de datos provenientes de TAC, RM y SPECT como parte del análisis preoperatorio de dos cavernomas cerebrales productores de un cuadro convulsivo. En esta imagen, de un paciente tratado en nuestra Clínica, y generada por un programa llamado 3Dslicer, se han empleado la mayoría de las técnicas descritas en este artículo. Corregistro, Segmentación, Reconstrucción 3D y despliegue interactivo. La interacción del cirujano con este modelo facilitó el desarrollo de la estrategia quirúrgica que permitió la extirpación satisfactoria de ambas lesiones.

## **Bibliografía**

1. Isaac N Bankmann (Editor). *Handbook of Medical Imaging. Processing and Analysis*. Academic Press 2000.

2. Selman J. *Cirugía guiada por imágenes*. *Rev Med Clin Condes* Vol 11, N° 3:79-87.

3. Arthur W. Toga (Editor). *Brain Warping* Academic Press 1999.

4. Sitios útiles en Internet

<http://www.slicer.org>

<http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/imaging/>

<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>

<http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/crl/micro.html>