

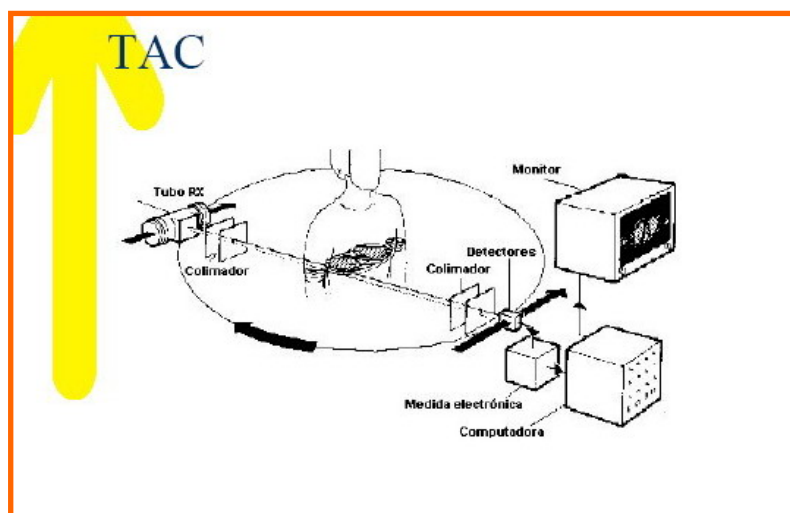
## TC MULTIDETECTOR: Bases de funcionamiento e implicaciones en la patología del Abdomen.

Dr. Juan Sánchez Parrilla.  
Hospital Universitario del Mar.

### Introducción:

La tomografía computerizada constituyó una auténtica revolución en el campo de la Radiología, supuso la introducción del PLANO AXIAL, ya que hasta ese momento la Radiología sólo representaba las densidades de los tejidos que atravesaba, únicamente pudiéndose definir las diferentes estructuras si tenían a su lado otra de menor densidad. El plano axial mostraba nuevas dimensiones que no se podían valorar previamente, como el plano anterior, posterior, medial y lateral.

El TC se basa en la emisión de un haz colimado de rayos X que, tras atravesar el área anatómica a explorar, incide en un detector o conjunto de detectores que envía la señal inducida por la radiación incidente a un ordenador, el cual la analiza y cuantifica mediante ecuaciones matemáticas (algoritmos) adaptadas al procesamiento informático, transformándola en imágenes que se presentan en un monitor, mostrando la imagen axial. Para conseguir el grosor de corte necesario y un haz de rayos X más efectivo, se utilizan tanto colimadores prepaciente como colimadores postpaciente.



En los años 70, un ingeniero de EMI, Geoffrey Hounsfield, demostró el funcionamiento del sistema de TC. Esta demostración le llevó a recibir el premio Nóbel de física en 1982, junto a Allan Cormack, de la Tufts University, autor de los fundamentos matemáticos que condujeron a los modelos de reconstrucción de las imágenes de TC.

Los primeros TC se fundamentaban en un movimiento de traslación sobre el paciente de un emisor y un detector de radiación X; el emisor y el detector se desplazaban conjuntamente en línea recta, después realizaban un movimiento de traslación de unos 45° y realizaban la misma acción, así hasta completar un giro completo al paciente, para realizar un solo corte. Estos primeros TC, para realizar una sola rotación alrededor del paciente tardaban varios minutos, y en un estudio craneal simple, de 10 imágenes únicamente, se tardaba aproximadamente 1 hora.

Posteriormente aparecieron nuevas generaciones de TC, como los TC de tercera generación, donde en tubo de emisión de rayos X y los detectores realizaban un movimiento circular alrededor del paciente, llegando a rotaciones de hasta 1 segundo; pero durante éste movimiento rotatorio la mesa del paciente no se movía, y una vez realizado el giro, ésta se movía a la distancia predeterminada, para realizar el siguiente corte. Los estudios se acortaron más en el tiempo, pero aún tardaban una media de unos 5 minutos.

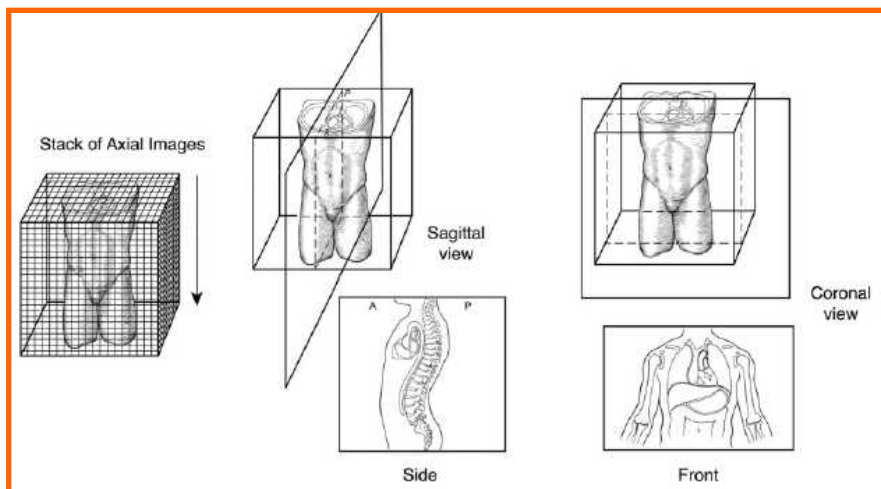
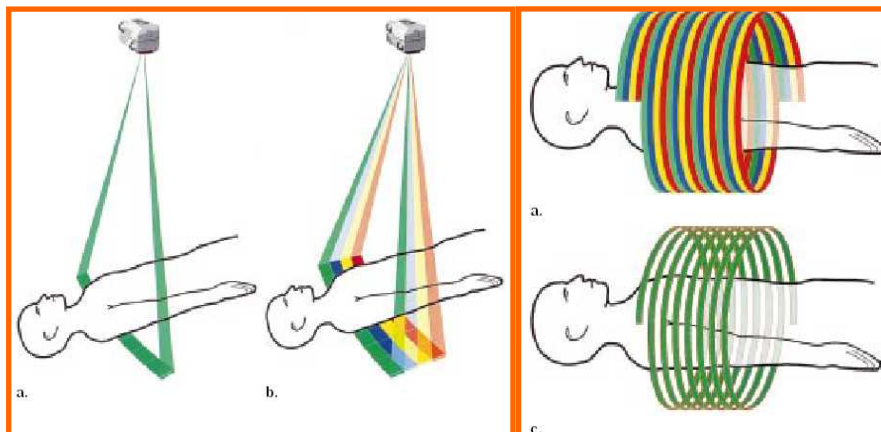
El siguiente avance significativo fue el TC helicoidal o espiral, que se comenzó a utilizar en 1989 (Kalender et al.) la gran ventaja que mostraban este tipo de TC, con respecto a los anteriores, era el movimiento continuo de la mesa, a la vez que el giro del tubo de rayos X y de los detectores. El resultado de éste movimiento era que el emisor y los detectores realizaban una "espiral" sobre el paciente, de la cual deriva su nombre. El TC helicoidal contribuyó sobre todo al aumento de la velocidad del estudio; se podría estudiar un abdomen en 30 segundos, permitiendo realizar el estudio en una única apnea, o bien, estudiar varias zonas anatómicas, seguidas, en varias apneas. La realización del estudio en apnea es primordial para no

producir el artefacto de movimiento, siendo estos tiempos de apnea fácilmente soportados por la mayoría de los pacientes, además de permitir reconstrucciones mejores en el eje Z.

El inconveniente intrínseco al movimiento en "espiral" del TC helicoidal es que no se escanea todo el paciente, hay zonas no medidas, que se deben de reconstruir por "interpolación" con los valores de la sección inmediatamente anterior y de la posterior, hecho que influye tanto en la calidad de la imagen como en la calidad de las reconstrucciones.

La llegada del TCMD en 1998 (Siemens) constituyó uno de los avances tecnológicos mas recientes aplicados a la Radiología, y ha tenido un impacto sustancial en los parámetros de actuación y en las aplicaciones clínicas sobre los del TC helicoidal.

El TCMD se fundamenta en un aumento de las filas de detectores, gracias al cual la adquisición de datos se realiza sobre un volumen del paciente, en cada giro, con lo que se elimina la interpolación. A partir del volumen obtenido el ordenador puede reconstruir los datos obtenidos en todos los planos, tanto axial, como sagital o coronal, como en todos los planos del espacio.



### **Aplicaciones:**

El TCMD aporta una serie de ventajas frente al TC helicoidal que tienen una relación directa con las aplicaciones del TCMD en el estudio abdominal:

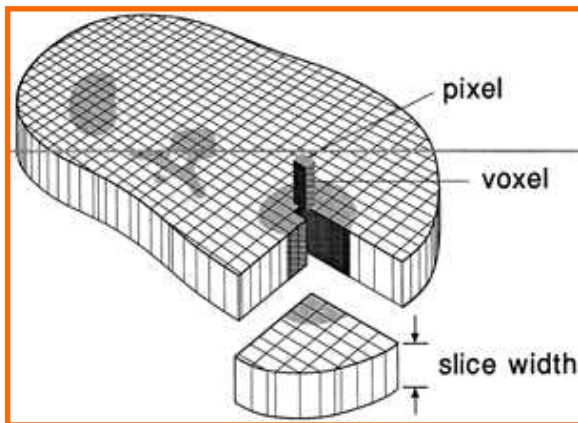
- 1.- Adquisición de volúmenes.
- 2.- Velocidad del estudio.
- 3.- Aprovechamiento del contraste.
- 4.- Reconstrucciones tridimensionales.

### **1.- Adquisición de volúmenes.**

Para entender las ventajas que aporta la adquisición de volúmenes es necesario conocer las bases de la imagen axial de un TC. La imagen en TC es un mapa de la densidad electrónica de los órganos y tejidos, obtenido del haz atenuado que llega al detector durante un giro completo a una sección del paciente, dando el valor numérico de cada píxel que se muestra en UH (unidades Hounsfield), que está en relación con el coeficiente de atenuación ( $\mu$ ) del tejido incluido en cada píxel.



Pero cada píxel corresponde a la densidad de un tejido que tiene un grosor (grosor de corte), ese volumen es el vóxel, y es la media de densidades del vóxel la que determina el valor del píxel, hecho fundamental en la aparición del artefacto de volumen parcial.



En el TCMD, la adquisición de volúmenes cambia la interpretación de los datos. Ya no se reconstruyen las imágenes a partir de las secciones axiales, sino que a partir del volumen obtenido se pueden realizar reconstrucciones multiplanares con un aumento de la resolución de las imágenes en el eje Z. Esto permite no sólo una mayor resolución en la representación del plano axial, con grosores de corte definidos a voluntad, sino también reconstrucciones sagitales y coronales casi isotrópicas. Las aplicaciones de las reconstrucciones multiplanares son múltiples, como el estudio anatómico multiplanar, que muestra con gran precisión las relaciones anatómicas, como la caracterización de las lesiones en múltiples planos para valorar de una forma más precisa sus extensiones. Otra utilidad es la localización de las lesiones, como por ejemplo en las lesiones hepáticas, la posibilidad de estudiarlas en múltiples planos nos da una mejor precisión en la localización de las mismas dentro de la anatomía segmentaria hepática.

Las reconstrucciones multiplanares también son muy útiles en el estadiaje de las neoplasias abdominales. Las proyecciones oblicuas nos pueden representar toda la anatomía de un órgano en una sola imagen, y por supuesto, si contiene lesiones, el alcance de las mismas.

Las reconstrucciones curvoplanares muestran un órgano que ocupa varios planos en un solo plano, son especialmente útiles en el estudio pancreático. El páncreas es un órgano que debía de estudiarse en varias secciones axiales o multiplanares, por su anatomía, pero las reconstrucciones curvoplanares nos permiten estudiarlo en un solo plano, facilitando el estudio del conducto pancreático y de las lesiones pancreáticas.

## 2.- Mayor velocidad en la realización del estudio:

Una ventaja crucial del TCMD es su velocidad, tanto de realización como de adquisición. Combinando una multifila de detectores con una reducción en el tiempo de rotación del gantry, un TCMD es capaz de ser 8 veces más rápido que un TC helicoidal de una sola fila de detectores. Esto permite, por lo tanto, el estudio de un volumen mayor del paciente, en menos tiempo, mejorando las aplicaciones del TC helicoidal, en el cual la resolución dependía del espacio escaneado; a mayor longitud, menor resolución (interpolación). En cambio, con el TCMD se puede abarcar mayor volumen del paciente sin perder la resolución de las imágenes (isotropismo).

El aumento de la velocidad permite que los estudios amplios se hagan en una sola apnea, no superior a 20 segundos, tolerada por la gran mayoría de los pacientes, por lo que se reducen los artefactos por movimiento, que en su gran mayoría son debidos a los movimientos respiratorios.

En los últimos modelos de TCMD, que superan las 32 coronas de detectores, la velocidad del estudio es tan alta que se anticipa a órganos con movimiento automático como el corazón, obteniendo imágenes de alta resolución de la anatomía cardiaca.

También ha permitido mejorar técnicas como la escopia directa por TC, que resulta muy útil en el intervencionismo radiológico, permitiendo observar y valorar el abordaje de las lesiones en tiempo real.

### **3.- Mayor aprovechamiento del contraste:**

El aumento de la velocidad de los estudios contribuyó en el desarrollo paralelo de bombas de administración de contraste; bombas que permiten una infusión del mismo a volúmenes y velocidades predeterminadas, con mayor precisión, según el tipo del órgano, estudio o patología que se desee valorar. Estas mejoras aumentaron la precisión en los estudios vasculares, además de la posibilidad de estudiar varias fases del realce vascular y de las lesiones, que permitió el desarrollo de protocolos más precisos.

Un claro ejemplo lo constituye el estudio hepático. El hígado tiene una dinámica circulatoria complicada. Aproximadamente el 80% del suministro sanguíneo hepático procede del sistema venoso portal y un 20% del sistema arterial hepático. Existe una fase arterial pura, que tiene una ventana temporal de unos 8-10 segundos, en la que se puede valorar el hígado únicamente con su aporte arterial, que se denomina fase arterial temprana; 7 segundos después, tiene lugar la fase arterial tardía o venosa portal temprana, que también tiene una ventana temporal de 8-10 segundos. La velocidad del TCMD ha permitido incluso diferenciar ambas fases, pudiéndose valorar cuál de las dos fases es mejor para la detección de lesiones hepáticas hipervasculares, y concretamente, el carcinoma hepatocelular, se realiza más en la fase arterial tardía, que es la que se utiliza en los protocolos.

La velocidad del TCMD permite que el contraste se administra para el estudio pueda ser valorado en diferentes fases dentro del mismo estudio. Partiendo del momento en el que se comienza la administración de contraste endovenoso, se pueden definir los diferentes momentos en los que se estudie un mismo volumen del paciente. Un ejemplo es el estudio de las lesiones hepáticas, concretamente el carcinoma hepatocelular, en el que se realizan tres fases, una arterial tardía de 30-40 segundos de retraso, una fase venosa a unos 60-70 segundos de retraso, y una fase de equilibrio a los 120 segundos; típicamente, el carcinoma hepatocelular presenta un patrón de realce importante en la fase arterial tardía, con un lavado progresivo en las fases posteriores, visualizándose más hipodenso que el parénquima hepático que lo rodea. En cambios, los angiomas hepáticos, presentan un patrón de realce centrípeto, observándose hiperdensos en su periferia en la fase arterial tardía, rellenándose progresivamente con el contraste conforme progresamos en las diferentes fases.

Otro ejemplo muy característico es el estadiaje del adenocarcinoma de páncreas. Se realiza una primera fase, la fase pancreática, con unos 40 segundos de retraso, en la que se ha comprobado que el realce del parénquima pancreático es el máximo (aproximadamente una media de 122 UH), en la que la diferencia de realce entre el tumor y el parénquima sano es máxima (aproximadamente una diferencia media entre ambos de 49 UH), que permite definir mejor los límites del tumor, y por último, es la fase en la que se consigue un realce máximo del tronco celíaco y de la arteria mesentérica superior, de gran importancia en el estadiaje prequirúrgico. La segunda fase que se realiza es una fase venosa con unos 70 segundos de retraso, que es en la que se consigue una mejor valoración de la vena porta, de la vena mesentérica superior, y la que presenta una mayor tasa de detección de metástasis hepáticas.

Otra aplicación reciente son los estudios de perfusión abdominal, que permiten valorar en el tiempo el patrón de distribución del contraste sobre una misma región anatómica.

### **4.- Técnicas de Reconstrucción Tridimensional.**

El avance tecnológico ha sido fundamental en la progresión del TC, ya que sin una evolución en la potencia y complejidad de los ordenadores no hubiera sido posible la evaluación de la gran cantidad de información que genera un TCMD, así pues, tanto el hardware como el software han tenido un papel fundamental en la evolución del TCMD.

El primer "ordenador" conocido fue un ábaco, concebido como una herramienta de utilidad en el cálculo numérico. Pero el primer ordenador electrónico fue el ENIAC, construido en Pensilvania en 1946, que

funcionaba con fusibles y bombillas. No tenía ni una décima parte de la potencia de una calculadora de bolsillo actual, en cambio, ocupaba toda una habitación de grandes dimensiones.

Pero el verdadero avance fue el desarrollo de los microprocesadores, que permitían procesar una mayor cantidad de información, a la vez que se disminuía el tamaño de los procesadores. Los equipos informáticos actuales cada vez ocupan menos tamaño y tienen una mayor potencia de procesamiento.

Las imágenes médicas en 3 dimensiones se generan mediante una gran variedad de algoritmos matemáticos, que requieren el manejo de un gran volumen de información, en una serie de operaciones que incluyen la adquisición, el reensamblaje y la edición de los datos.

Las técnicas de reconstrucción tridimensional existen desde la década de los 80, pero no fue hasta los 90 cuando fueron ampliamente utilizadas. Estas técnicas se encargan de representar un volumen tridimensional de datos en uno o más planos bidimensionales, trasladando las relaciones espaciales inherentes en los datos adquiridos a unas imágenes de profundidad.

Para entender el funcionamiento de estas técnicas nos ayudaría imaginar que los datos adquiridos forman un cubo flotando en el monitor; los datos se organizan en una matriz 3D de elementos de volumen (vóxel), y la pantalla del monitor es una superficie en 2D compuesta por elementos de imagen (píxel). Lo que realiza cada técnica de reconstrucción tridimensional es recurrir a fórmulas matemáticas para determinar, para cada uno de los píxeles del monitor, qué porcentaje de los datos deben de ser representados para mostrar las relaciones espaciales, es decir, para dar una "sensación de profundidad".



Existen varias técnicas de reconstrucción tridimensional, y entre las más utilizadas en medicina están:

- Shaded Surface Display (SSD).
- Maximum Intensity Projection (MIP).
- Three-Dimensional Volume Rendering (VRD).

#### **Shaded Surface Display (SSD):**

Fue la primera técnica de reconstrucción tridimensional (1970). Se basa en la representación tridimensional de las superficies dentro de un volumen de datos, es decir, representa de forma tridimensional los órganos que tienen una superficie identificable, primordialmente los huesos o las estructuras vasculares muy contrastadas. El problema de ésta técnica es que utiliza un pequeño porcentaje de los datos adquiridos en el estudio, aproximadamente un 10% de los mismos.

#### **Maximum Intensity Projection (MIP):**

El MIP es una técnica de representación tridimensional en la que se representa el valor máximo del vóxel. Es especialmente útil creando imágenes angiográficas, en la valoración tridimensional del sistema excretor renal teñido en fases tardías.

Pero el MIP tiene una serie de artefactos e inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta por el operador. El valor del píxel representado en la imagen es, por definición, únicamente el material de mayor intensidad, por lo que materiales de alta densidad como el calcio arterial o las prótesis vasculares metálicas pueden ocultar información sobre el material de contraste endovascular. Además menosprecia, en cierta manera, las relaciones anatómicas.

#### **Three-Dimensional Volume Rendering (VRD):**

El VRD emplea todo el volumen de datos del vóxel en cada píxel de la pantalla. La incorporación de todo el volumen de información necesita de una gran fidelidad en el manejo de la información, por lo tanto son

necesarios ordenadores mucho más potentes que permitan el manejo de grandes volúmenes de información a una velocidad razonable.

La primera vez que se utilizó el VRD con fines médicos fue en la clínica Mayo en 1970. en la década de los 80, los avances en el hardware de procesamiento de imágenes y en las técnicas de manipulación de datos evolucionaron paralelamente, aplicados en la University of North Carolina y gracias a Pixar. Las innovaciones técnicas que se lograron permitieron desarrollar un sistema de procesamiento de imágenes, el Pixar Image Computer. Posteriormente, Silicon Graphics, también contribuyó al desarrollo de las técnicas de reconstrucción tridimensional.

El trabajo de Pixar deriva del trabajo de los científicos informáticos de Lucas Films (Industries Light and Magic) en San Rafael, California. George Lucas, tras finalizar en 1983 la primera trilogía de su saga, no estaba contento con los efectos especiales logrados hasta el momento, hechos con tecnología óptica, por lo que reclutó a varios científicos informáticos de la época con el fin de desarrollar gráficos por ordenador que permitieran generar imágenes y personajes más realistas, que le permitieran plasmar el entorno de Star Wars tal y como él lo concebía.

Las aplicaciones médicas del VRD son múltiples, ya que presentan una reconstrucción tridimensional de la anatomía y hacen más entendibles las informaciones radiológicas por parte de los clínicos, y además son útiles para el planteamiento quirúrgico de las patologías. Pero no está tan clara una utilidad directa en el trabajo diario de los Radiólogos.

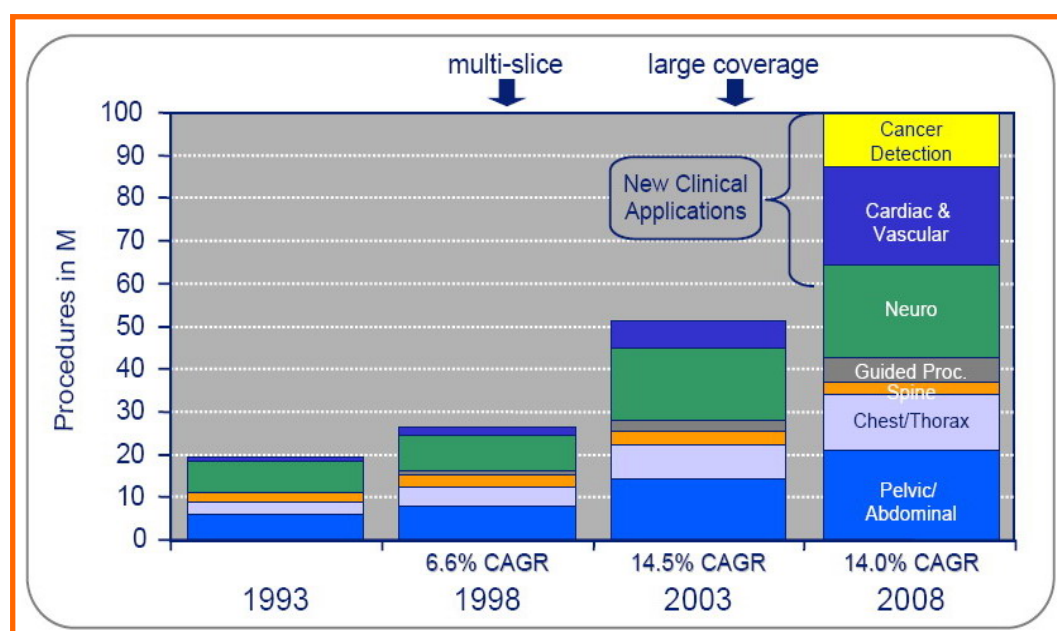
En las áreas que ha tenido más utilidad son, sobre todo, en el sistema musculoesquelético, sobre todo en los traumatismos, con la reconstrucción tridimensional de las fracturas, y en el estudio de las estructuras vasculares, dando una visión tridimensional de las mismas.

Otra utilidad dependiente de los avances en el software es que se ha podido simular técnicas como la endoscopia, mediante una reconstrucción virtual del interior de las vísceras huecas. La colonoscopia virtual permite una valoración inicial del colon y la detección de pólipos, siendo menos molesta e infinitamente más rápida que la colonoscopia clásica, además, no sólo nos da información del interior de las vísceras huecas, sino de todo el resto del abdomen.

### Integración de técnicas.

Para aprovechar al máximo la información que ofrece el TCMD se debe de estudiar cada paciente mediante la integración de técnicas, es decir, desplegar todas las posibilidades técnicas que permite el TCMD, de forma individualizada, para conseguir las mayores cotas diagnósticas.

En definitiva, cada año que pasa podemos apreciar, conforme avanza el desarrollo tecnológico, que las aplicaciones del TCMD en las diferentes especialidades radiológicas aumentan cada vez más, y sobre todo, con el aumento del número de detectores.



**Inconvenientes del TCMD:**

El TCMD ha revolucionado en gran parte el estudio del abdomen, permitiendo nuevos protocolos de estudio y nuevas aplicaciones, mejorando además las que ya existían. Pero tiene una serie de inconvenientes:

- En primer lugar, se generan una gran cantidad de imágenes, del orden de 500 a 1000, según el tipo de estudio.
- Son necesarias estaciones de trabajo y no las exposiciones en placas tradicionales, para sacarle más partido diagnóstico.
- Es necesario un entrenamiento por parte del Radiólogo en las diferentes técnicas de reconstrucción multiplanar y volumétricas.
- Aumento del tiempo de utilización de la consola, para valorar todas las reconstrucciones multiplanares, volumétricas, además de las diferentes fases.

***En resumen: el estudio se hace más rápido y mejor, pero nosotros necesitamos más tiempo para obtener de él toda la información que nos permita hacer un informe preciso, que rentabilice todas las propiedades diagnósticas de la técnica.***

Además el avance en sistemas de procesamiento, almacenamiento y transmisión de imágenes, facilita el acceso y traspaso de la información, pero tampoco disminuye el tiempo necesario para valorar un estudio.