

11231



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO  
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

UTILIDAD DE MODELOS BRONQUIALES CREADOS POR  
ESTEREOLITOGRAFIA EN LA ENSEÑANZA DE  
BRONCOSCOPIA.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
LA ESPECIALIDAD EN NEUMOLOGIA  
P R E S E N T A :  
DRA. ANGELICA CRISTINA CUAYA URCEAGA

TUTOR: DR. CARLOS NUÑEZ PEREZ-REDONDO



MEXICO, D. F.

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DR. FERNANDO CANO VALLE**  
Director General del Instituto Nacional de Enfermedades  
Respiratoria.  
Profesor Titular del Curso de Neumología.



SUBDIVISIÓN DE ESPECIALIZACIÓN  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE MEDICINA  
U.N.A.M.

**DR. JESUS VILLALPANDO CASAS**  
Director de Enseñanza del Instituto Nacional de Enfermedades  
Respiratorias.

**DR. JORGE SALAS HERNANDEZ**  
Subdirector de Enseñanza.

**DRA. RENATA BAEZ SALDANA**  
Jefe del Departamento de Formación de Recursos en Salud.

**DR. CARLOS NUNEZ PEREZ-REDONDO.**  
Jefe de Servicio de Broncoscopia.  
Asesor de Tesis.

**INER**



INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES  
RESPIRATORIAS  
DIRECCION DE ENSEÑANZA

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS:**

Señor, tú llegas hasta lo más profundo de mí y me conoces por dentro.  
Sabes cuando me detengo y cuando no sé qué hacer.  
Entiendes mis ilusiones y mis deseos como si fueran tuyos;  
En mi camino has puesto una huella,  
En mi descanso te has sentado a mi lado;  
Has tocado todos mis proyectos palmo a palmo.

*Salmo 139.*

### **A MI FAMILIA:**

Con cariño especial a mi **MADRE**, por todo su amor, apoyo y ayuda durante toda mi vida.  
A mi padre, hermanos y a toda mi familia: MUCHAS GRACIAS.

### **A TODOS MIS AMIGOS:**

Con especial cariño por todo su apoyo y compañía a Ana Zamora, Patricia Castillo, Pamela Torres y Delfino Alonso.

### **AL INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS:**

Por el orgullo de haber formado parte de él.

### **AL DR. CARLOS NUÑEZ PEREZ-REDONDO:**

Por su confianza y apoyo para realizar este trabajo.

### **A DRA. VICTORIA FALCON SOLIS:**

Por su ayuda y colaboración para la elaboración de este trabajo.

### **A DR. FERNANDO URRUTIA GONZALEZ.**

Por su apoyo teórico y práctico de la estereolitografía.

### **A DR. SERGIO FLORES HERNANDEZ:**

Por su colaboración para elaborar este trabajo.

### **A TODOS LOS MEDICOS:**

Agradezco a todos aquellos médicos del INER que me brindaron su amistad y su apoyo. Gracias.

### **A MARTHA:**

Por toda su ayuda y por escucharme cuando lo necesité durante estos 3 años.

## INDICE

Introducción	1
Conceptos Generales de la Estereolitografía	1
Proceso de la Estereolitografía	2
Aplicaciones de la Estereolitografía	4
Aplicaciones en Medicina	5
Delimitación del Trabajo	11
Hipótesis	11
Objetivos	11
Justificación	12
Diseño del estudio	12
Metodología	13
Resultados	14
Conclusiones	16
Imágenes	18
Glosario	20
Bibliografía	21
Tabla	25

## **INTRODUCCION.**

La **Estereolitografía (STL)** es una tecnología de prototipado rápido, que permite la construcción de un objeto sólido a partir de información digital obtenida de las imágenes de una tomografía computada (TAC), convirtiéndolas en 3 dimensiones (3D), con la finalidad de construir modelos y prototipos mediante el uso de un sistema láser, en un plazo muy breve, comparado con los modelos realizados en etapas iniciales<sup>1,2,3,4,5</sup>.

El término Estereolitografía nos habla de tres aspectos fundamentales, estereo: múltiples dimensiones, lito: piedra y grafía: escritura; y puede interpretarse literalmente como la escritura tridimensional en material sólido o la impresión tridimensional con resinas sólidas.

Se denomina **Prototipado Rápido** al conjunto de tecnología y programas de cómputo, capaces de generar objetos físicos directamente desde los datos de una TAC<sup>1,2,4</sup>.

El término prototipo se refiere a la fabricación de un ejemplar original o de modelos originales. Al ser tomados de partes anatómicas siempre serán únicas. Así la fabricación de estos modelos se llama prototipado.

### **Conceptos generales.**

La tecnología del prototipado rápido está basada principalmente en las llamadas Técnicas de Fabricación por Capas (Layer Manufacturing Technologies), éstas parten del modelo matemático en 3 dimensiones de un objeto generado en una TAC. La definición del objeto se obtiene por aproximación poliédrica de su superficie, con una determinada tolerancia, esta malla de triángulos constituye el archivo para la STL.

El archivo STL se introduce en el ordenador del equipo de fabricación de prototipos, donde se orienta, se mide a escala y se rebana, convirtiendo la geometría 3D del objeto, en una serie de capas de geometría 2D. A partir de aquí se produce el objeto físico, ordenando las capas definidas.

Los principales tipos de la tecnología del prototipado rápido existentes se clasifican según el tipo de proceso y los recursos utilizados, sin embargo, consideramos conveniente no detallarlas ya que no son motivo del análisis del presente trabajo, pero se muestran en la tabla 1(marcados con amarillo).

La aplicación principal de esta tecnología es el desarrollo de modelos únicos en un plazo muy breve, de aquí el nombre de prototipado rápido.

Inicialmente el prototipado rápido se utilizó para fabricación de modelos y prototipos de ingeniería, así como modelos para presentaciones de mercadotecnia.

Sus principales ventajas son la capacidad de acelerar el concepto del diseño de los modelos, así como la rapidez entre dicho diseño y la elaboración del modelo<sup>1,2,4</sup>.

### **Origen y evolución.**

El origen de la estereolitografía se remonta a marzo de 1986, al ser creada y patentada por Charles Hull y colaboradores. En enero de 1988, la empresa 3D Systems inició la era de los prototipos rápidos al enviar sus tres primeras máquinas de estereolitografía a las empresas Baxter Healthcare corp., Eastman Kodak y Pratt & Whitney.

A partir de la aparición de la estereolitografía, se desarrollaron nuevas clases de prototipado rápido durante la década de los 90's, principalmente en Alemania, Francia, Israel y Japón.

La principal evolución de este proceso ha sido el tipo de materiales utilizados para la construcción de los prototipos. Los esfuerzos se dirigen a obtener un buen modelo tridimensional realizado con el material final que se desea utilizar, o bien, en un material que tenga características mecánicas y químicas muy similares al material original. Además, se está probando la construcción de modelos que incluyan múltiples materiales, es decir, crear una pieza con partes plásticas y metálicas<sup>1,4,5</sup>.

### **Proceso de la Estereolitografía.**

#### ***Modelo de Prototipado Rápido.***

Este proceso se basa en la solidificación de resinas por polimerización, mediante un haz láser.

Se requieren dos pasos básicos:

1. Adquisición de datos (obtenidos y procesados por imagen p. ej. TAC) y
2. Fabricación de modelos o implantes.

Se obtiene una definición geométrica del objeto por transferencia de información, la cual originalmente es grabada en un dispositivo de imagen tridimensional (inicialmente TAC). Hoy en día pueden usarse otras tecnologías incluyendo Resonancia Magnética (IRM), entre otros.

Usando la estereolitografía, puede realizarse una representación tridimensional de la imagen seleccionada, la cual es calculada y convertida a un formato apropiado para el procesamiento y construcción. (Pueden utilizarse softwares CAD/CAM por Surgicad, Inc, Dallas, TX, o softwares MIMICS por Materialise, An Arbor, MI, USA).

El programa de cómputo básicamente descifra los archivos segmentados del paciente, y los convierte a una imagen tridimensional (3D). La obtención de la imagen también involucra sustracción de artefactos debidos a implantes de metal o equipo esparcido. También son removidas las partes de la estructura, las cuales no son necesarias para el desarrollo del implante o del modelo<sup>6,7,8,9</sup>.

El protocolo en el cual los datos de la imagen son configurados, permite que sean transferidos al programa de cómputo en la estación de trabajo para una vista volumétrica preeliminar y con cortes en partes, para verificar la integridad de la base de datos.

Los datos son procesados, con construcción de un archivo que es capaz de conducir el dispositivo de estereolitografía.

El proceso es llevado por medio de una estación de trabajo gráfica computarizada, para producir la segmentación de las imágenes en partes previamente tomadas.

Previo a convertir el archivo de TAC o IRM hacia un archivo CAD (Diseño Apoyado por Computadora), se realiza una revisión y ajuste de cada imagen para lograr la compatibilidad del proceso de moldeado.

La segmentación de la estructura anatómica se logra automáticamente con una visualización biomédica tridimensional del paquete del programa. Algunos programas pueden incluir la edición de este paso manualmente, usando una herramienta de dibujo.

Después de la conversión a un archivo CAD compatible, las imágenes de la TAC son transformadas hacia un modelo sólido y no pueden ser manipuladas por separado como se desea, sin embargo, los componentes de ellos mismos pueden ser ajustados o alterados. La información del archivo CAD es transferido a una impresora 3D, la cual es usada para construir un modelo.

Para la construcción del modelo, se utiliza fácilmente un método mediado por computadora llegando a un modelo tridimensional, anatómicamente correcto, de materiales termoplásticos, o modelos de resinas acrílicas. El proceso involucra el uso de transmisión láser, dirigida por una computadora, para dibujar cortes transversales del modelo hasta la superficie de líquido de postcurado<sup>19,11,46</sup>.

Con el dispositivo de la estereolitografía y la impresora 3D, los datos o superficies cortados en partes sólidas son trazados por el programa hacia cortes transversales bien hechos. Usando una serie de espejos, se utiliza un láser de helio-cadmio que genera un programa poco intenso y de bajo poder de luz ultravioleta, que es movido a través de un extremo de una tina de foto monómero líquido por un sistema óptico de barrido computarizado.

El láser polimeriza el líquido hacia sólido, mientras este es tocado, precisamente imprimiendo cada corte transversal.

Un elevador vertical baja la nueva capa formada y bañada, y un sistema nivelado establece el espesor de la siguiente capa. Las sucesivas capas transversales, cada una adherida en la de abajo, son construidas una en la parte superior de la otra, hasta que el modelo final es creado.

Los puntos atacados por el haz láser se polimerizan creando una capa de consistencia pétrea. La geometría 2D de cada capa dirige el movimiento de dos espejos galvanométricos (es decir capaces de medir la intensidad y determinar el sentido del haz de una luz) que reflejan el rayo láser sobre la superficie de trabajo. En la tina se encuentra una plataforma elevadora que al inicio está justamente bajo la superficie, a una profundidad igual al límite de absorción de la luz. Cuando se ha terminado de construir una capa, la plataforma desciende una distancia especificada, permitiendo que quede cubierta por una nueva capa de líquido, para poder continuar el proceso en que el haz de láser dibuja una nueva capa encima de la anterior. Cuando todas las capas están completas, el prototipo está creado en un 95%. Esto es, necesita un postcurado en un horno bajo luz ultravioleta para que esté completamente solidificado.

Con el dispositivo STL, un bloque de materiales termoplásticos son expuestos al calor para convertirlo en líquido. Este se solidifica para la construcción de modelo 3D, capa por capa, con un inyector de 0,2mm. Esta técnica requiere aproximadamente 24 horas para un modelo completo, pero es significativamente menos costoso que un modelo acrílico.

Actualmente se crean dos modelos, con uno de ellos, el cirujano puede manipular para practicar en el quirófano. Puede ser usado para práctica mecánica incluyendo corte, adiestramiento, aplicación de tornillos, etc.

El otro modelo es el implante real permanente, en el cual el cirujano puede trabajar (metilmetacrilato o hidroxiapatita). Estos modelos finales son creados por moldeado positivo-negativo usando el termoplástico o modelos acrílicos como una plantilla con un instrumento especial<sup>10,11</sup>.

### **Aplicaciones de la estereolitografía.**

Desde finales de los 80s y principios de los 90s se ha reportado la descripción del uso de digitalizadores tridimensionales, para realizar la localización de puntos tridimensionales reales, así como de imágenes y la obtención de objetos, usando métodos de prototipado rápido tales como la estereolitografía.

Las técnicas de prototipado rápido tienen aplicación en muchos sectores, siendo el más importante el de la automoción, seguido de las herramientas portátiles y aparatos electrodomésticos. Otros sectores son el de los componentes electrónicos, el material eléctrico, los aparatos y equipos de telecomunicaciones, envases, juguetes, etc.

La primera demostración de estereolitografía fue en 1984, y se aplicó primero comercialmente en la industria de automóviles en 1989. En medicina, esta fue aplicada inicialmente para prótesis maxilofaciales en los finales de los 80s y fue usada para implantes craneales a mediados de los 90s. Un avance en esta técnica fue en 1991, cuando un cuerpo momificado congelado, fue descubierto después de ser liberado del hielo del glaciar Similaun en los Alpes Tirolean.

En ese momento, para mantener bien conservado el cuerpo frágil y evitar su destrucción, se le realizaron estudios no invasivos, para el conocimiento completo del espécimen. La duplicación del cráneo fue realizado mediante estereolitografía, así como otras técnicas radiográficas, incluyendo radiografía convencional, radiografía digital y tomografía computada<sup>12</sup>.

### **Aplicaciones en medicina.**

La STL es un método mediado por computadora que puede usarse fácilmente creando modelos tridimensionales anatómicamente correctos de resinas acrílicas, de varios tipos de datos médicos. Pueden explotarse múltiples modalidades de imagen, incluyendo TAC e IRM. Actualmente es usada para reproducir la anatomía interna y externa de las estructuras del cuerpo. Sus utilidades médicas actuales incluyen planeación preoperatoria de cirugía ortopédica y maxilofacial, fabricación de dispositivos protésicos y la valoración del grado de lesión de hueso y tejidos blandos causados por trauma, además es una tecnología útil y poco explorada para la medicina forense<sup>13</sup>.

Las ventajas generales de la estereolitografía son la capacidad para educar al paciente y sus familiares en el preoperatorio, el entrenamiento de médicos para obtener mejor conocimiento de la anatomía, simulación preoperatoria de la cirugía, y nuevos modelos médicos moleculares<sup>11</sup>.

### **Cráneo-facial:**

La estereolitografía ha proporcionado excelentes resultados resolviendo los problemas asociados con las trepanaciones y grandes reconstrucciones craneales. Dujovny, fue uno de los primeros en describir un procedimiento de craneoplastia (en 1997) usando estereolitografía en un gran defecto bifrontal del cráneo<sup>14</sup>. Posteriormente, también demostró que la realización y prefabricación de implantes de craneoplastias (réplicas de biomodelos plásticos), son una técnica que reduce significativamente el tiempo quirúrgico, permite un excelente trabajo cosmético y su costo efectividad.

Actualmente, los materiales más comúnmente usados para las reconstrucciones son injertos óseos, injertos minerales, injertos metálicos e injertos polímeros. Todos estos tienen diferentes ventajas y desventajas, pero las principales características de esos materiales incluyen: accesibilidad, precio razonable, biocompatibilidad, no biodegradable, no carcinogénico, no tóxico, no magnético, conductancia no térmica/no eléctrica, luz no corrosiva/no ionizable, con la capacidad de ser esterilizable, resistencia de alto impacto, compatibilidad con imágenes de diagnóstico y pueden usarse por estereolitografía<sup>7,15</sup>.

Muchas prótesis de polímeros actualmente son hechos de polimetilmetacrilato, o metilmetacrilato e incluso de cemento de hidroxiapatita<sup>16,17,18</sup>.

En 1998 Agnes y Dujovny realizaron cirugía con el equipo necesario en los modelos craneales, usando herramientas microquirúrgicas, microscopio quirúrgico y un neuronavegador, antes de realizar la cirugía en los pacientes.

Los investigadores encontraron que les proporciona una ayuda extremadamente importante para tener una visualización prequirúrgica de las áreas de la base del cráneo que son muy variables entre los pacientes, por ejemplo tubérculo yugular, condilo occipital y foramen yugular.

Con esos modelos de cráneo, puede determinarse el abordaje quirúrgico más apropiado, la evaluación de posibles riesgos operatorios en el paciente y mejorar la educación del residente tanto como sea posible<sup>20</sup>.

En el caso de la planeación de la cirugía craneofacial, la estereolitografía proporciona importante información adicional, en los casos de características dismórficas incluyendo hipertelorismo, asimetrías severas de las estructuras craneales, sinostosis craneal compleja, grandes defectos del cráneo, y paladar hendido. En el caso de la sinostosis craneal, usando un modelo plástico, puede realizarse la cirugía en el modelo para hacer las marcas precisas sobre el cráneo y después identificarlas en el paciente; esto puede aplicarse tanto en procedimientos abiertos como endoscópicos<sup>21</sup>.

En oftalmología se ha utilizado para planeación prequirúrgica de la anatomía de fracturas orbitales complejas con desplazamiento importante, para creación de prótesis y reparación de los defectos de la pared de la órbita<sup>22</sup>.

Las aplicaciones en cirugía oro-maxilo-facial han mejorado y facilitado el diagnóstico, la planeación terapéutica y operación en modelos. La cirugía de trauma, cirugía de tumor, y condiciones como paladar hendido, atrofia alveolar y malformaciones congénitas son beneficiadas por el uso de estereolitografía como una herramienta auxiliar<sup>23</sup>.

También se ha descrito la STL a color para planear cirugías complejas de tumores maxilofaciales, usando modelos coloreados selectivamente, para una mejor identificación y extensión del área del tumor<sup>24</sup>.

Se realizó un estudio en modelos de implantes dentales por estereolitografía, encontrando que estos modelos son confiables para realizar las mediciones de las áreas de soporte de carga de la dentadura, con un error de 10 a 20%<sup>25</sup>.

También se ha propuesto que la STL representa un método para colocar mini implantes ortodónticos usando un puente fabricado por estereolitografía coloreada selectivamente. Mediante este método se identificaron claramente dientes, encías, y senos maxilares. Como resultado, el puente puede ser fabricado tomando en cuenta las características anatómicas del interior del hueso y de la superficie dental. Esto sugiere que el modelo es un instrumento promisorio para guiar la colocación de mini implantes adyacentes a las raíces de los dientes y al maxilar<sup>26</sup>.

El uso de modelos de STL en cirugía ortognática es limitado por la dificultad en la consideración de las osteotomías faciales y la oclusión dental al mismo tiempo. Diferentes técnicas permiten al cirujano realizar la simulación usando prototipos compuestos, después de incluir los moldes dentales en los modelos.

Estas técnicas requieren un complejo sistema estereotaxico o un abordaje quirúrgico antes de la TAC para insertar los tornillos de referencia. Esto puede no superar el problema del movimiento mandibular durante la sesión de TAC. Esta técnica es una forma simple para incluir los moldes dentales en el modelo estereolitográfico con alta precisión. Esto puede ser hecho fácilmente en un ambiente maxilofacial y no requiere cualquier otro conocimiento especial que el adquirido en un laboratorio dental clásico. Los modelos pueden realizarse de silicón (puede ser usado para disminuir el movimiento mandibular durante la TAC) o bien de yeso<sup>27,28</sup>.

La predicción de los cambios óseos futuros con la edad que ocurren en el maxilar, ahora pueden valorarse basados en el concepto de crecimiento diferencial continuo. La predicción de la anatomía facial futura de humanos jóvenes puede hacerse midiendo los ángulos de la pared maxilar y la apertura piriforme relacionada a la nasion. El ángulo principal decrece a través de la vida y es llamado cambio angular. También existen interesantes análisis de curvas y contornos de la cara<sup>29</sup>. En este aspecto, la estereolitografía puede jugar un importante papel en la cirugía facial reconstructiva, en investigaciones policíacas, medicina forense y arqueología.

La SLT juega un papel importante en la imagen de oído interno y externo. Puede realizarse un modelo del oído contralateral. La primera imagen se toma de una IRM, la cara y el oído intacto son extraídos, digitalizados y reformados a 3D y en conjunto con STL se produce un modelo de resina fotopolimerizada del oído para ser usado en el lado contralateral<sup>30</sup>.

El entrenamiento en microcirugía de oído medio y la región coclear requiere disecciones hábiles, las cuales ahora pueden realizarse con modelos obtenidos por SLT.

Los cráneos de cadáveres humanos son difíciles de obtener en muchos centros, por lo que pueden ser sustituidos por modelos creados por SLT. La práctica en esos modelos es equivalente a la realizada en especímenes humanos, en términos de características del material y detalles anatómicos<sup>31,32</sup>.

Recientes aplicaciones de STL para reconstrucciones de tejidos blandos de la tráquea, pueden hacerse usando datos obtenidos de TAC. Para este propósito, en necesario crear modelos 3D de los tejidos blandos, así como los contornos del aire de los modelos, posteriormente se invierten los datos obtenidos de la TAC.

En pacientes en estado post laringectomía, la creación de modelos de la traquea y de la traqueostomía, son de gran ayuda para las mediciones y para el prototipo de las prótesis y el desarrollo del método de fijación endotraqueal de las valvas de la traqueostomía<sup>33</sup>.

### **Antropología.**

Las aplicaciones en antropología incluyen la reconstrucción de especímenes tales como el hombre de hielo Tyrolean, homo neandertals, australopithecus, entre otros<sup>34,11</sup>. Aunque algunos especímenes están parcialmente destruidos ha sido posible la reconstrucción de las partes perdidas para obtener estimaciones del volumen cerebral y morfología endocraneal. También se pueden hacer descripciones de estructuras morfológicas usando morfometría geométrica, y muchos otros especímenes históricos también pueden ser replicados.

### **Medicina forense.**

La STL es una ayuda importante en la medicina forense. Existen casos en los que remanentes de esqueleto de una víctima de homicidio son encontrados en tal grado de descomposición y daño, que es imposible su identificación.

Basado en dimensiones craneales obtenidos de reconstrucción usando SLT, se han realizado modelos faciales y de cabeza presentando un importante parecido con la víctima<sup>35</sup>. También es posible reconstruir los cráneos, tomando en cuenta las características de los tejidos faciales de la población americana por raza, también se pueden incluir otras variables como el sexo, el grado de obesidad o emaciación y la forma de la nariz, creando finalmente la cara.

La creación de modelos faciales usando STL y TAC para la medicina forense es un método útil en la investigación policíaca. Para implicaciones legales y judiciales, la STL ayuda al entendimiento del caso, a través de la reconstrucción de partes dañadas del cuerpo, o la trayectoria de cuchillos y balas, huesos rotos y muchas otras estructuras<sup>35,36</sup>.

### **Vascular.**

La estereolitografía es uno de los métodos para crear modelos vasculares, con la ventaja de que pueden trabajarse con anastomosis (injerto-arteria y arteria-arteria).

Los fluidos pueden estudiarse por medio de Doppler láser. Los modelos son hechos de goma o caucho y de glicerol/NaCl. Los modelos vasculares también pueden ser analizados usando ultrasonido Doppler para el cual se requiere de una pared vascular del modelo<sup>37</sup>.

También pueden obtenerse imágenes de estructuras cerebrovasculares, incluyendo aneurismas cerebrales y casos seleccionados de malformaciones arteriovenosas por SLT, sin embargo es frecuente encontrar limitaciones en la interpretación de imágenes de ARM, y comúnmente, se recomienda el angiograma cerebral o angioTAC para clarificar la forma del aneurisma cerebral y sus relaciones.

Usando la SLT en relación a la decisión del mejor abordaje quirúrgico, la posición de la cabeza y el tipo de grapa que va a utilizarse, la cual puede hacerse antes de tiempo, se reduce significativamente la duración de la cirugía y el estrés quirúrgico<sup>38</sup>.

Este método ha sido interesante en la simulación de procedimientos quirúrgicos, diseñando nuevos injertos y calibrando modalidades de imágenes, usando modelos experimentales para la creación de una arteria de calibre del tamaño y conformación real, así como de aneurismas. Esto ha sido posible para aneurismas aórticos y cerebrales. Para los aórticos, la exactitud de la replica es satisfactoria con 0.4mm o menos de diferencia en las mediciones entre el aneurisma aórtico real y las réplicas.

Las aplicaciones para la valoración de la distribución del flujo preclínico en valvas cardíacas mecánicas, son posibles usando visualización de flujo, para reducir complicaciones tromboticas relacionadas a la fabricación de esas valvas; se aplica el mismo principio a estudios de flujo dinámicos en estenosis mitral. Los modelos de STL obtenidos por imágenes de ecocardiografía hacen posible crear la anatomía y patología de la valva mitral, en pacientes estudiados con eco transesofágico. También es posible la descripción de las arterias coronarias<sup>37,39,40</sup>.

### **Anatomía embrionaria.**

La innovación en la reconstrucción embrionaria ha hecho posible la creación de modelos que muestran el desarrollo de la anatomía interna y externa. Esto facilita la educación usando la morfología del crecimiento etapa por etapa, porque la SLT es capaz de incrementar el tamaño de la imagen original<sup>41</sup>.

Se han realizado modelos físicos a escala por STL de corazones embrionarios humanos utilizando un analizador de etapas hemodinámicas específicas. Dichos modelos fueron generados del espacio sanguíneo cardíaco de reconstrucciones digitalizadas de 4 imágenes de embriones humanos de la Colección Carnegie en el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas. Para crear los modelos por STL su utilizaron estudios dinámicos de flujo. Estos estudios pueden ayudarnos a entender la formación normal y aberrante del corazón<sup>42</sup>.

### **Ortopedia.**

La STL proporciona al cirujano la oportunidad única de palpar y visualizar una replica exacta del hueso y articulación afectados antes y durante la cirugía.

Existen casos específicos en los que la STL mejora significativamente los resultados quirúrgicos con mejor alineación y fusión de las estructuras óseas involucradas, incluyendo casos de fracturas acetabulares y pélvicas complejas, osteotomía periacetabular, sobreposición de cadera, cadera displásica y fracturas de calcáneos<sup>43,44</sup>.

La construcción de endoprótesis monocondilares y bicondilares hechas con alta precisión de las articulaciones de rodillas también puede hacerse por STL. Este método permite la reducción de resecciones óseas durante la cirugía y da un perfil exacto de la interfase hueso-implante<sup>45</sup>.

Usando STL, también puede mejorar el conocimiento de la anatomía espinal, así como el conocimiento de la osteoporosis por medio de análisis de USG de la porosidad del hueso.

La subluxación occipital-atlantoidea requiere un conocimiento preciso de la forma y desplazamiento del área para planear un dispositivo de fusión varilla-alambre adecuadas. Determinando el tamaño y los elementos involucrados en la estenosis espinal, permite al cirujano tener una mejor exploración microquirúrgica y descompresión del área. El mismo principio puede aplicarse a tumores extradurales con localizaciones anteriores o antero-lateral dentro del canal espinal. Puede dibujarse la anatomía del mielomeningocele, obteniendo vistas axiales de modelos para determinar el tamaño actual de la lesión, sus capas involucradas y la planeación del cierre de la piel, reduciendo el tiempo quirúrgico.

Finalmente, los modelos de STL en los casos del uso de tornillos y varillas implantados en esos modelos, ayuda a la explicación preoperatoria y para el entrenamiento de los residentes.

#### **Urología.**

Un papel en la planeación de cirugía de corrección de diastasis púbica en pacientes con exotropía de la vejiga, se consigue por la realización de un modelo del hueso púbico por STL. La simulación de la cirugía se basa en un dispositivo de fijación externa y en el uso de un distractor aplicado en el modelo del hueso púbico<sup>46</sup>.

## **DELIMITACION DEL TRABAJO:**

### **EL TRABAJO POR INVESTIGAR ES:**

¿Cuál es la aplicación de la estereolitografía para realizar modelos bronquiales y su utilidad en la enseñanza de Broncoscopia?

### **PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS:**

Si se realizan modelos bronquiales por la técnica de estereolitografía, entonces podemos agilizar, facilitar y concretar los conocimientos relacionados con la anatomía bronquial, mejorar el concepto tradicional de la distribución bronquial y de las técnicas broncoscópicas, así como optimizar la enseñanza en Broncoscopia de los residentes de Neumología.

### **OBJETIVOS:**

1. Determinar la aplicación de la estereolitografía en la realización de modelos bronquiales.
2. Demostrar la concordancia de los modelos bronquiales por estereolitografía con los hallazgos en la broncoscopia real.
3. Comprobar que los modelos bronquiales por estereolitografía son útiles para mejorar la enseñanza teórica de la técnica de broncoscopia.
4. Demostrar que los modelos bronquiales por estereolitografía son útiles para el entrenamiento práctico de la técnica de broncoscopia.

## **JUSTIFICACIÓN.**

La estereolitografía es una técnica que recientemente se ha utilizado en medicina para la realización de modelos anatómicos en áreas como cirugía plástica, ortopedia y neurocirugía, sin embargo, no existen trabajos publicados en la literatura relacionados con la anatomía bronquial.

Por lo anterior, es de gran importancia iniciar con la realización de los primeros modelos bronquiales de características normales y de aquéllos con variantes anatómicas normales, para realizar su descripción y documentar su utilidad.

## **DISEÑO DEL ESTUDIO.**

Se realizó un estudio descriptivo en el Servicio de Broncoscopia del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, no experimental y biomédico.

Se captaron los pacientes hospitalizados en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, a quienes se les realizó Fibrobroncoscopia y tomografía helicoidal de tórax para protocolo de estudio o tratamiento de cualquier patología pulmonar, durante el periodo comprendido de marzo a julio del año 2004.

Posteriormente se eligieron aquéllos que se encontraron con características anatómicas normales de ambos lados del árbol bronquial, así como los que resultaron con variantes anatómicas normales o en aquéllos en los cuales hubo discrepancia en la nomenclatura de los segmentos y se les aplicaron las técnicas de estereolitografía para hacer los modelos bronquiales y analizar la distribución espacial de los segmentos para su clasificación correcta.

## **METODOLOGIA.**

De los pacientes programados en el servicio de Broncoscopia, se eligieron aquéllos a quienes durante el estudio broncoscópico para su protocolo de estudio, presentaron características anatómicas del árbol bronquial normales y a quienes tuvieron variantes anatómicas. De ellos, se selecciono un paciente con anatomía normal que contaba con una tomografía helicoidal, y un segundo paciente, el cual presentaba un bronquio traqueal como variante anatómica normal, quien también contaba con tomografía helicoidal.

Posteriormente se procedió a realizar el proceso de la estereolitografía. Para ello se utilizo el programa MIMICS 8.1 de MATERIALISE<sup>MR</sup>.

El proceso de la estereolitografía ya se describió en el apartado correspondiente, por lo que a continuación, solo se menciona un resumen del mismo y algunos datos adicionales.

Para iniciar el proceso, es necesario importar los datos de la tomografía grabados en un CD al programa de MIMICS, posteriormente aparece la imagen del tórax en cortes axiales, sagitales y coronales, los cuales pueden utilizarse para convertir la imagen topográfica en una imagen tridimensional.

Este programa cuenta con 3 botones básicos: 1) botón "tresholdin", 2) botón "región growing" y 3) botón "calculate 3D", con los cuales se selecciona el corte tomográfico deseado, se realizan 1 o mas "máscaras", las cuales pintan de diferentes colores las estructuras anatómicas deseadas, ya sea hueso, corazón, grandes vasos, parénquima pulmonar, etc., tanto para seleccionar como para quitar estructuras y posteriormente convertirlo a una imagen tridimensional.

La imagen creada puede visualizarse en cortes frontal, lateral, posterior, superior, etc., puede girarse sobre su eje tanto transversal como horizontal así como oblicuo, con capacidad de alejar o acercar la imagen.

Finalmente, una vez obtenida la imagen tridimensional de los pulmones y el árbol bronquial, se selecciona todo el parénquima pulmonar y se elije aplicar una "mascara" transparente, la cual elimina todo este tejido, dejando ver claramente todo el árbol bronquial.

Al tener la imagen del árbol bronquial marcada se envía la información a la impresora, la cual realizara el modelo capa por capa, como se describió anteriormente en el apartado del proceso de la estereolitografía.

## **RESULTADOS.**

Se realizó el proceso de la estereolitografía de 2 pacientes, el primero con anatomía del árbol bronquial normal y otro con variante anatómica normal.

Se obtuvieron imágenes tridimensionales que muestran la anatomía normal, y una imagen clara de la variante anatómica de un bronquio traqueal.

En la imagen tridimensional del árbol bronquial normal (Fig. 1) se aprecian los bronquios subsegmentarios hasta la cuarta generación. La animación permite la rotación en 360° en sentido vertical, horizontal y oblicuo, pudiendo identificar la orientación espacial de los bronquios, sin embargo, en esta fotografía solo se muestra la proyección de la imagen en rotación a la derecha de 15°.

Se realizó un molde del árbol bronquial normal, sin embargo, al imprimirse capa por capa, obtuvimos un modelo de ambos pulmones (fig. 2, 3 y 4), ya que a pesar de tener una "máscara transparente, el equipo captó todo el parénquima pulmonar.

En el prototipo de los pulmones impresos por estereolitografía (Fig. 2, 3 y 4) se obtuvieron a escala de un 30% del tamaño real, en el cual es posible observar con detalle la anatomía del parénquima pulmonar, además de visualizarse los orificios de los bronquios.

No fue posible obtener un modelo que mostrara únicamente el árbol bronquial, ya que técnicamente aún no se han determinado los pasos para delimitar la pared de los bronquios, por la densidad del aire, la cual no fue posible convertir y/o eliminar.

Se intentó borrar las estructuras del parénquima pulmonar corte por corte tomográfico, sin embargo no fue posible dejar solo el árbol bronquial, ya que a pesar de que los cortes son de 1mm., no delimitan exactamente todos los bronquios subsegmentarios.

Aunque se pueden invertir los algoritmos para eliminar el parénquima pulmonar en las imágenes tridimensionales, hacer el mismo procedimiento fue particularmente difícil en el caso de la impresión de los moldes de la pared bronquial.

Para el modelo de variante anatómica normal se eligió el caso de un paciente en quien se encontró un bronquio traqueal por broncoscopia, el cual se confirmó por TAC.

Se le realizaron imágenes tridimensionales que demostraron la presencia del bronquio traqueal. En la imagen de la vista superior de este caso (Fig. 5) se generó una fotografía de baja definición y muy oscura, por lo que fue necesario contrastar la imagen para poder distinguir el árbol bronquial del parénquima pulmonar, esto se logró modificando el porcentaje de brillo y de contraste de la misma.

En la imagen de la vista frontal del bronquio traqueal (Fig. 6) se puede apreciar con claridad una mejor resolución que en la vista superior, sin embargo, a nivel central, no proporciona una clara identificación de los todos los bronquios segmentarios.

En este caso no se realizó modelo sólido por estereolitografía debido a los problemas técnicos antes mencionados.

## **CONCLUSIONES.**

El siglo veinte es testigo del desarrollo de nuevas técnicas y de la automatización industrial. Las computadoras han hecho posible el diseño y duplicación de prótesis. Durante los pasados 15 años, han ocurrido grandes avances y cada año son creados nuevos modelos y prótesis médicos usando estereolitografía.

En este trabajo se realizó por primera vez un modelo a escala por Estereolitografía de pulmones normales, utilizando las imágenes de una tomografía helicoidal de tórax.

No fue posible realizar la impresión del modelo del árbol bronquial solo, consideramos que puede deberse a diversas causas que se mencionan a continuación:

- Aún no se han explorado completamente las aplicaciones de la estereolitografía en la vía aérea inferior
- No se han descrito las técnicas específicas del programa de estereolitografía que puedan manejar la densidad del aire.
- La estereolitografía tiene mejor definición en partes óseas, probablemente por que es más fácil manejar esta densidad.
- Aunque se han realizado modelos de vasos sanguíneos, lo cual es lo más parecido a la estructura del árbol bronquial, la diferencia puede ser la densidad de la sangre, como auxiliar en la delimitación de las paredes vasculares.
- Aun no tenemos la experiencia necesaria para el manejo tanto del programa de cómputo, como de la impresora de estereolitografía.

Por lo tanto, es necesario continuar explorando nuevas aplicaciones de los programas de estereolitografía en medicina y en particular al aparato respiratorio.

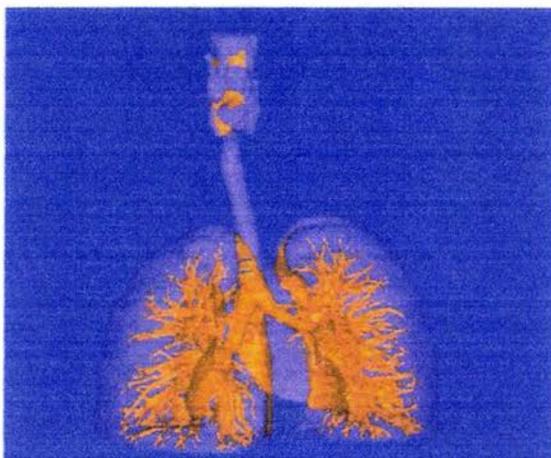
También debe valorarse la utilidad de la Resonancia Magnética para definición de las estructuras de la vía aérea inferior.

Probablemente se pueda obtener un modelo impreso del árbol bronquial con la evolución de los programas actuales o bien, cuando el surgimiento de nuevos protocolos de estereolitografía o el conocimiento de las aplicaciones de la impresora 3D se dirijan específicamente a la resolución del aparato respiratorio.

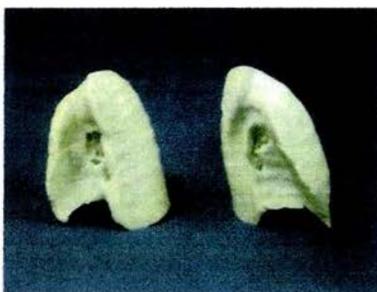
Consideramos que aún deben estudiarse y modificarse las técnicas que ayuden a delimitar las paredes bronquiales.

Este estudio constituye la base para la realización de futuras investigaciones de las aplicaciones de los modelos bronquiales por estereolitografía, para realizar prótesis, equipo quirúrgico o endoscópico, diseñados a la medida exacta en cada caso particular, así como la identificación de patologías o lesiones a nivel del árbol bronquial, así como tamaño y extensión de las mismas, y posiblemente determinar futuras aplicaciones.

Creemos que la estereolitografía puede continuar jugando un papel significativo en la mejoría del cuidado clínico en los siguientes años. Nuevas técnicas de imagen se empiezan a crear continuamente y la estereolitografía puede ser sometida a la mejoría y a la expansión de su uso.

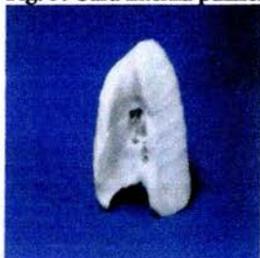


**Fig. 1.** Imagen tridimensional del árbol bronquial normal. Se aprecia hasta bronquios subsegmentarios de 4ª generación.



**Fig 2.** El prototipo de los pulmones impreso por estereolitografía a escala de 30% del tamaño real. Muestra la anatomía normal del parénquima pulmonar y se aprecian los orificios de los bronquios.

**Fig. 3.** Cara interna pulmón derecho.



**Fig. 4.** Cara interna pulmón izquierdo.





Fig. 4. Imagen de broncoscopia real que muestra a) carina principal y b) bronquio traqueal.

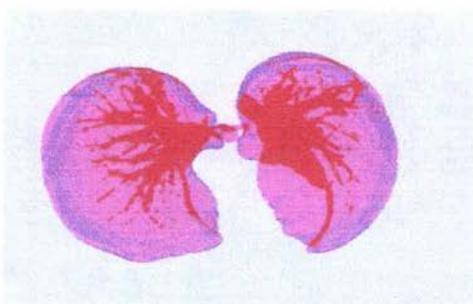


Fig. 5. Vista superior del caso de bronquio traqueal. Fue necesario contrastar la imagen para poder distinguir el árbol bronquial en la fotografía, ya que la imagen obtenida originalmente es muy oscura y con poca definición.

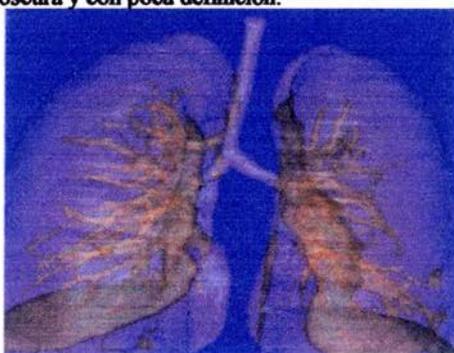


Figura 6. Vista frontal en el caso de bronquio traqueal en la que se aprecia con claridad que la resolución es mejor que en la figura anterior. Sin embargo, en la región central no es muy clara la identificación de los bronquios segmentarios.

## **GLOSARIO.**

**Postcurado:** Fotopolimerización de resinas mediante lámpara Ultravioleta.

### **Técnicas de Fabricación por Capas (Layer Manufacturing Technologies)**

Estas técnicas de fabricación parten del modelo matemático en 3D de un objeto generado en un CAD. La definición del objeto se obtiene por aproximación poliédrica de su superficie, con una determinada tolerancia. Esta malla de triángulos constituye el fichero STL.

### **CAD: (Computer Aided Design - diseños auxiliados por computadora)**

Actualmente el término CAD significa proceso de diseño que utiliza sofisticadas técnicas gráficas de ordenador apoyadas en paquetes de software para ayuda en todos los problemas asociados con el diseño.

**Fichero STL:** se introduce en el ordenador del equipo de fabricación de prototipos donde se orienta, se escala (en previsión de contracciones durante y después del proceso) y se rebana, convirtiendo la geometría 3D del objeto en una serie de capas de geometría 2D. A continuación el sistema de fabricación es capaz de producir el objeto físico por apilamiento de las capas así definidas.

## BIBLIOGRAFIA.

1. Cooper Keneth. Rapid Prototyping Technology. New York: Marcel Dekker, 2001.
2. Lu L, Fuh JYH, Wong YS. Laser Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001
3. Leu Ming. Handbook of Rapid Prototyping and Layered Manufacturing. New York: American Society of Manufacturing Engineers, 2001
4. Lafont P. Prototipado Rápido e Ingeniería Inversa. Revista de Plásticos Modernos, Vol. 77 N° 574, Abril 1999.
5. Erazo D, Edu M. El proceso de estereolitografía de fabricación de modelos y prototipos. 1994. Imprenta México.
6. Vannier MW. Computer applications in radiology. Cur Opin Radiol 1991; 3: 258-266.
7. Dujovny M, Agner C. Computer tomography-assisted preformed prosthesis for repair of cranial defects. Atas of Neurosurgery, Vol VIII, Park Ridge, IL: AANS, 1999: 185-194.
8. Barker TM, Earwaker WJ. Integration of 3D medical imaging and rapid prototyping to create stereolithographic models. Australas Phys Eng Sci Med 1993; 16: 79-85.
9. Santler G, Karcher H. Stereolithography versus milled three-dimensional models: comparasion of production methodm indication, and accuracy. Comp Aid Surg 1998; 3: 248-256.
10. Poulsen M, Lindsay C. Stereolithographic modeling as an aid to orbital brachytherapy. Int J Radiat Oncol, Biol, Phys 1999; 44: 731-735.
11. Perez-Arjona E, Dujovny M. Stereolithography: Neurosurgical and medical implications. Neurological Research, 2003;25: 227-236.
12. Zur Nedden D, Knapp R. Skull of a 5,300-year-old mummy: Reproduction and investigation with CT-guided stereolithography. Radiology 1994; 193: 269-272.
13. Stereolithography: a potential new tool in forensic medicine. Dolz MS; Cina SJ; Smith R Joint Wilford Hall Medical Center/Brooke Army Medical Center Program, Lackland AFB, Texas, USA
14. Dujovny M, Fernandez P. Post-cranioplasty cerebral spinal fluid hydrodynamic changes: Magnetic resonance imaging quantitative analysis. Neurol Res 1997; 19: 311-316.

15. Dujovny M, Aviles A. Cranioplasty: Cosmetic or therapeutic? *Surg Neurol* 1997; 43: 238-241.
16. D'urso PS, Earwaker WJ. Custom cranioplasty using stereolithography and acrylic. *Br J Plast Surg* 2000; 53: 200-204.
17. Park HK, Dujovny M. Impact stimulation on pre-formed prosthesis for large cranial defect. *Biomed Sci Instrument* 2000; 36: 269-273.
18. Dujovny M, Aviles A. An innovative approach for cranioplasty using hydroxyapatite cement. *Surg Neurol* 1997; 43: 294-297.
19. Berry E, Brown JM. Preliminary experience with medical applications of rapid prototyping by selective laser sintering. *Med Eng Phys* 1997; 19: 90-96.
20. Agner C, Dujovny M, Evenhouse R. Stereolithography for posterior fossa cranioplasty. *Skull Base Surg* 1998; 8: 81-86.
21. Sailer HF, Haers PE. The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections. *Int J Oral Maxillofacial Surg* 1998; 27: 327-333.
22. Holck DE, Boyd EM. Benefits of stereolithography in orbital reconstruction. *Ophthalmology* 1999; 106: 1214-1218.
23. Holck DE, Boyd EM. Benefits of stereolithography in orbital reconstruction. *Ophthalmology* 1999; 106: 1214-1218.
24. Kermer C, Rasse M. Colour stereolithography for planning complex maxillofacial tumour surgery. *J Cranio-maxillo-facial Surg* 1998; 26: 360-362.
25. Heckmann SM; Winter W; Meyer M; Weber HP; Wichmann MG. Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture-bearing area. Part 1: In vivo verification of stereolithographic model. *Clin Oral Implants Res* 2001 Dec;12(6):617-23
26. Kitai N; Yasuda Y; Takada K. A stent fabricated on a selectively colored stereolithographic model for placement of orthodontic mini-implants. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2002;17(4):264-6.
27. Taha F; Testelin S; Deschepper B; Devauchelle B. Orthognathic surgery and stereolithographic models. A new technic of dental occlusion transfer. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2000 Apr;101(2):65-71.

28. Hoffmann J; Schwaderer E; Dammann F. The use of hybrid stereolithographic models for the planning of complex craniofacial procedures. *Biomed Tech (Berl)* 2002; 47 Suppl 1 Pt 1:278-81.
29. Peckitt NS. Stereolithography and the manufacture of customized implants in facial reconstruction: A flapless surgical technique. *Brit J Oral Maxillofacial Surg* 1998; 36: 481.
30. Coward TJ, Watson RM. Fabrication of a wax ear by rapid-process modeling using stereolithography. *Int J Prosthodontics* 1999; 12: 20-27.
31. Begall K, Vorwerk U. Artificial petrous bone produced by stereolithography for microsurgical dissecting exercises. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1998; 60: 241-245.
32. Lopponen H, Holma T. Computed tomography data based rapid prototyping model of the temporal bone before cochlear implant surgery. *Acta OtoLaryngologica Supplement* 1998; 529: 47-49.
33. Grolman W, Schouwenburg PF. Three-dimensional models of the tracheostoma using stereolithography. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1995; 57: 338-342.
34. Hjalgrim H, Lynnerup N. Stereolithography: potential applications in anthropological studies. *Am J Phys Anthropol* 1995; 97: 329-333.
35. Vanezi P, Vanezis M. Facial reconstruction using 3D computer graphics. *Forens Sci Int* 2000; 108: 81-95.
36. Yourtee D; Emery J; Smith RE; Hodgson B. Stereolithographic models of biopolymers. *J Mol Graph Model* 2000 Feb;18(1):26-8, 59-60.
37. Binder TM, Moertl D. Stereolithographic biomodeling to create, tangible hard copies of cardiac structures from echocardiographic data: In vitro an in vivo validation. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35: 230-237.
38. D'urso PS, Thompson RG. Cerebrovascular biomodelling: A technical note. *Sur Neurol* 1999; 52: 490-500.
39. Gilon D, Cape EG. Insights from three-dimensional echocardiographic laser stereolithography. Effect of leaflet funnel geometry on the coefficient of orifice contraction, pressure loss, and the Gorlin formula in mitral stenosis. *Circulation* 1996; 94: 452-459.
40. Kinoshita S, Konishi G. Stereovectorcardiogram made by stereolithography. *Cardiology* 1990; 77:269-271.

41. Pentecost JO, Icardo J. 3D Computer modeling of human cardiogenesis. *Comp Med Imag Graph* 1999; 23: 45-49.
42. Pentecost JO; Sahn DJ; Thornburg BL; Gharib M; Baptista A; Thornburg KL. Graphical and stereolithographic models of the developing human heart lumen. *Comput Med Imaging Graph* 2001 Nov-Dec;25(6):459-63.
43. Kacel GM, Zannetti M. Rapid Prototyping (stereolithography) in the management of intra-articular calcaneal fractures. *Eur Radiol* 1997; 7: 187-191.
44. Migaud H, Cortet B. Value of a synthetic osseous model obtained by stereolithography for preoperative planning. Correction of a complex femoral deformity caused by fibrous dysplasia. *Revue de Chirurgie Orthopedique et Reparatrice de l'Appareil Moteur* 1997; 83: 156-159.
45. Thoma W, Schuster C. Custom-made knee endoprosthetics using subtraction data of 3-dimensional CT scans. A new approach. *Orthopade* 2000; 29: 641-644.
46. Stein R, Junger TH. The Giessen-Mainz-Frankfurt procedure: A new method for complex pelvic reconstruction for bladder exstrophy. *J Urol* 2001; 165: 1235-1239.

#### **ENLACES RELACIONADOS:**

1. protorapid.com.  
<http://www.prorapid.com/index.htm>
2. Rapid Prototyping Laboratory.  
<http://www-rpl.stanford.edu/>
3. The Rapid Prototyping Home Page.  
<http://www.cc.utah.edu/~asn8200/rapid.html#RES>
4. Worldwide Guide to Rapid Prototyping.  
<http://home.att.net/~castleisland/>
5. Estereolitografía de México.  
<http://www.estereolitografiademexico.com>

**Tabla 1. Clasificación de la Tecnología utilizada en el Prototipaje Rápido.**

Sustractiva	Capa Completa	Con Láser	<b>Fabricación por corte de láminas</b> <i>Laminated Object Manufacturing (LOM):</i> Helisys (USA) Strato Conception: ESSTIN (F)
Aditiva	Capa Completa	Sin Láser	<b>Fotopolimerización por luz UV</b> <i>Solid Ground Curing:</i> Cubital (Israel)
	Punto por Punto	Sin Láser	<b>Deposición de hilo fundido</b> <i>Fused Deposit Modelling:</i> Stratasys (USA)
			<b>Proyección de Aglutinante</b> <i>3D Printing MIT:</i> Solingen (USA)
		Con Láser	<b>Estereolitografía (Solidificación de Resina)</b> SLA: 3D Systems (USA) Stereos: EOS (Alemania) SPL: Laser 3D (Francia) Solid Creation System: Sony (Japón) SOMOS Dupont: Teijin-Seiki (Japón) oup: Mitsubishi (Japón)
		<b>Sinterización</b> <i>Selective Laser Sintering (SLS):</i> DTM (USA)	

Fuente: Industries et Techniques, a partir de un documento de Dassault Aviation.