

Villena F, Sánchez S. Fabricación de un modelo tridimensional mandibular a partir de datos de tomografía computarizada. Mouth. 2017;2(1):e07102017es. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1004602>.

Métricas en PlumX 

Fabián Villena  orcid.org/0000-0002-8759-466X

Escuela de Odontología, Facultad de Salud y Odontología, Universidad Diego Portales, Santiago, Chile

Correspondencia: villenafabian{at}gmail.com

Salvador Sánchez

Escuela de Odontología, Facultad de Salud y Odontología, Universidad Diego Portales, Santiago, Chile

Resumen

Este manuscrito tiene por objetivo establecer un flujo de trabajo para la construcción de biomodelos tridimensionales mediante la técnica de fabricación con filamento fundido. Se describen las características de tomografías computarizadas en formato DICOM, la generación de un modelo tridimensional desde los archivos DICOM y finalmente la manufactura (impresión), por medio de la tecnología de fabricación con filamento fundido. A través de este protocolo de trabajo es posible generar biomodelos tridimensionales paciente-específicos a bajo costo, donde la precisión de la tecnología con filamento fundido es confrontable con otros sistemas más costosos.

Palabras clave: biomodelo tridimensional; tomografía computarizada; impresión tridimensional.

Introducción

En los últimos tiempos la aparición de nuevas tecnologías aplicadas al área de la salud ha generado significativos cambios en los paradigmas, particularmente en el campo de la odontología. Un ejemplo de ello es el caso de la especialidad de rehabilitación oral, donde la obtención de biomodelos tridimensionales en tiempo real desde de la cavidad oral del paciente es un hecho [1], logrando mediante recursos digitales restauraciones de calidad superior a las obtenidas con técnicas clásicas [2][3].

Este estudio está orientado en componer un protocolo de trabajo que comienza en la obtención de datos desde tomografías computarizadas, transitando hacia la generación virtual de biomodelos tridimensionales de estructuras específicas, finalizando con la manufactura de los biomodelos utilizando un sistema de impresión en tres dimensiones (3D), basado en la tecnología de fabricación con filamento fundido. La tecnología de filamento fundido tiene la particularidad de generar impresiones a bajo costo, en comparación con otras tecnologías de impresión [4]. Este protocolo utiliza programas computacionales de libre acceso y se basa en pruebas realizadas en el Laboratorio de Fabricación Digital FAB851 de la Facultad de Ciencias Físicas y

Matemáticas de la Universidad de Chile, recinto de acceso público perteneciente al ecosistema mundial de FabLabs.

Flujo de trabajo

Paso 1: obtención de datos a partir de tomografías computarizadas

El protocolo estándar de intercambio de datos de tomografías computarizadas es el Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), un formato de imagen digital y una estructura de datos para el almacenamiento e intercambio de imágenes biomédicas [5]. El conjunto de datos DICOM (cortes bidimensionales) consiste en una serie de archivos bajo la extensión “.dcm”, cada archivo del conjunto es un corte del examen imagenológico. El conjunto de datos normalmente es almacenado en CD-ROMs junto con programas para su visualización. El conjunto podría encontrarse en otros formatos de imagen [6], sin embargo, lo esencial para la generación de biomodelos tridimensionales es poseer cada corte del examen en archivos independientes. Un biomodelo tridimensional de calidad superior requiere que cada corte tomográfico tenga un grosor menor a 1,5 mm [7].

Paso 2: generación de un biomodelo tridimensional virtual (BTV)

El conjunto de datos DICOM deben ser incorporados entre sí para generar un biomodelo tridimensional. Este proceso es llevado a cabo por medio de programas que interpretan los datos bidimensionales de los cortes, convirtiéndolos en volúmenes tridimensionales. El formato de archivo de modelos tridimensionales más utilizado es el STL (STereo Lithography), esta configuración es una representación geométrica en 3D de una superficie (Figura 1A). La superficie que representa el archivo STL está constituida por múltiples triángulos unidos entre sí (Figura 1B) [8][9].

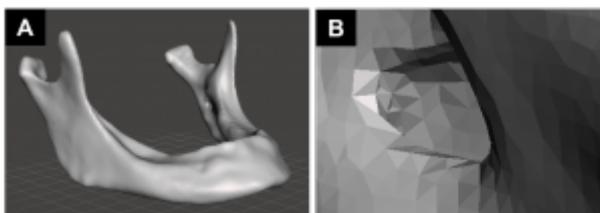


Figura 1. Generación del biomodelo tridimensional virtual. Visualización de un biomodelo de una mandíbula en formato STL (A). Acercamiento al biomodelo, evidenciando la serie de triángulos que

conforman el archivo STL (**B**).

Existen varios programas que interpretan datos bidimensionales DICOM para la generación de BTVs en formato STL. A continuación se describirán dos programas que cumplen con esta finalidad:

3D Slicer

3D Slicer (www.slicer.org) es un programa de libre acceso, diseñado para el análisis y visualización de imágenes médicas. Dentro de las prestaciones del programa se encuentran funciones como la segmentación de áreas específicas para la posterior generación de un BTV en formato STL [10].

Para generar un BTV, el usuario debe determinar los umbrales de densidad de las estructuras a segmentar. Estos umbrales se miden en unidades Hounsfield (HU). Por ejemplo, la densidad de los huesos maxilofaciales ronda entre los 400 y 900 HU [11]. El software determina mediante el umbral de densidad escogido los voxeles (unidad mínima de una imagen digital tridimensional, homólogo al pixel en imágenes bidimensionales) que van a formar parte del BTV.

Los BTV generados de manera automática pueden presentar artefactos debido a que los umbrales establecidos podrían incluir voxeles de estructuras indeseadas, y de igual forma, no incluir voxeles deseados. Por ejemplo, deseamos segmentar una mandíbula que presenta osteoporosis condilar. Hemos establecido un rango de umbrales de densidad a segmentar entre 400 y 900 HU. El biomodelo mandibular podría carecer de cóndilo o incluir zonas que no deseamos segmentar, debido a la densidad de esas estructuras se pueden encontrar dentro del umbral seleccionado. Estos artefactos deben eliminarse posteriormente con programas de edición de BTVs.

Una alternativa a la generación automática es la segmentación manual. Este método se realiza coloreando cada corte de la tomografía computarizada que se desea segmentar (Figura 2). Es proceso bastante tedioso, puesto que una tomografía computarizada de cabeza y cuello contiene alrededor de 400 cortes tomográficos.

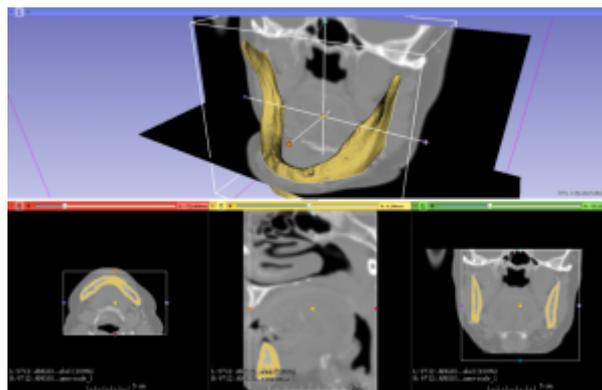


Figura 2. Segmentación manual utilizando 3D Slicer.

En amarillo se evidencia la sección segmentada manualmente. En el panel superior se observa el BTV generado con cortes tomográficos superpuestos.

ITK-SNAP

ITK-SNAP (www.itksnap.org) es un programa de acceso libre para la generación de BTVs en formato STL a partir de un conjunto de datos DICOM. Presenta ventajas sobre 3D Slicer, debido a que cuenta con un método de segmentación automática avanzado llamado Active Contour Segmentation. Esta técnica genera un BTV más limpio, fidedigno y libre de artefactos [12] (Figura 4). Como desventaja, ITK-SNAP no cuenta con otras herramientas de análisis de imágenes biomédicas a diferencia de 3D Slicer.

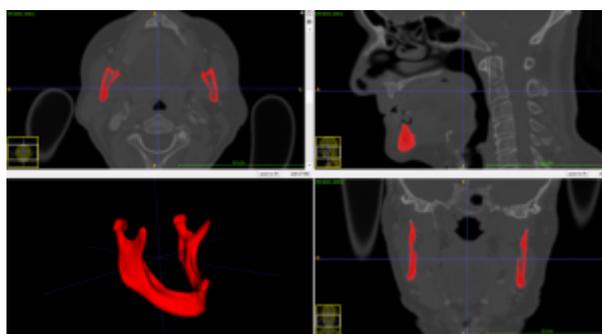


Figura 3. Visualización de la interfaz gráfica del programa ITK-SNAP. Se evidencia en color rojo la sección segmentada automáticamente. En la imagen inferior izquierda se encuentra el BTV.

Paso 3: edición del biomodelo tridimensional virtual

Esta parte del flujo de trabajo puede omitirse si se desea que el biomodelo tridimensional se manufacture tal como se ha generado desde los datos DICOM. El archivo en formato STL generado desde los DICOM suele presentar artefactos que deben ser eliminados. Además la superficie del biomodelo presenta irregularidades que deben ser suavizadas previo al proceso de manufactura. Para este proceso el programa Autodesk® MeshMixer® exhibe aplicaciones que ayudan a conseguir este objetivo.

Autodesk® MeshMixer®

Autodesk® MeshMixer® (www.meshmixer.com) es un programa gratuito, que tiene la capacidad de editar MTVs en formato STL. Sus herramientas permiten la selección y eliminación de artefactos y el suavizado de superficies (Figura 4).



Figura 4. Modelo virtual usando Autodesk® MeshMixer®. Visualización del BTV inmediatamente después de su generación (A). Suavizado superficial y remoción de artefactos (B).

Paso 4: manufactura a través de fabricación con filamento fundido

Posterior a la creación de un BTV, sumado al proceso de eliminación de artefactos y suavizado de superficie, el archivo STL debe ser materializado para la fabricación de un biomodelo físico. En el mercado existen múltiples tecnologías de prototipado rápido o impresión tridimensional, este flujo se enfoca en la tecnología de fabricación con filamento fundido o fused filament fabrication (FFF).

El funcionamiento de la tecnología de manufactura FFF consiste en la extrusión de plástico fundido desde filamentos sólidos, los que se van depositando capas de material para así generar un biomodelo tridimensional [13]. El material empleado por la máquina utilizada (Makerbot Replicator 2) es el ácido poliláctico o polylactic acid (PLA). El PLA es un biopolímero termoplástico biodegradable de alta resistencia mecánica y baja toxicidad [14][15]. La tecnología de manufactura FFF junto con el uso de PLA ha demostrado tener resultados comparables con soluciones de manufactura más costosas [16].

El archivo en formato STL debe ser interpretado por un programa compatible con la máquina de impresión a utilizar, debido a que el proceso de manufactura varía en función de las tecnologías y marcas comerciales. En el mercado existe un pool de programas que a partir de un archivo STL generan una ruta específica para que la máquina logre materializar el BTV. En otras palabras, estos programas “traducen” el BTV al lenguaje de la máquina, el que la impresora puede entender. A continuación se describe el programa que utiliza la marca MakerBot.

Makerbot desktop

Es un programa especialmente diseñado para funcionar con la marca MakerBot (www.makerbot.com), el cual tiene la capacidad de importar archivos STL e interpretarlos para el posterior envío a la impresora. MakerBot desktop genera las rutas que debe seguir la impresora además de un sistema de soportes de impresión (Figura 5). Los soportes de impresión tienen la función de impedir que el filamento fundido que se está extruyendo se deposite sobre la base de impresión cuando los diseños de la pieza a manufacturar son muy irregulares. El soporte generado por el programa computacional se ajusta precisamente a las características del modelo de

máquina específico.

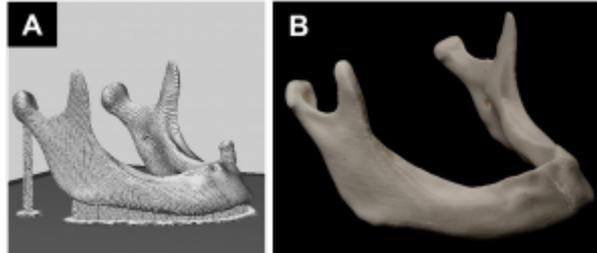


Figura 5. Previsualización del modelo tridimensional e impresión. MakerBot desktop muestra cómo será impreso el modelo, incluyendo los soportes que sostienen partes de la estructura (A). Aspecto del biomodelo tridimensional manufacturado luego de remover los soportes (B).

Discusión

El establecimiento de un flujo de trabajo en base a programas computacionales de libre acceso, sumado a un sistema de manufactura de bajo costo, aumenta las posibilidades de acceder a un examen complementario de vanguardia y de vastos alcances [17][18][19], además de generar oportunidades de innovación en el área de la salud.

El costo de manufactura del biomodelo anatómico presentado en este trabajo fue de 1.500 CLP, lo que resulta un menor precio en comparación a la estereolitografía, que presenta un costo económico aproximadamente diez veces superior.

Existe sólo un trabajo similar al presentado en este informe, en el que se establece un flujo de trabajo para generar biomodelos anatómicos tridimensionales en el área de la neurocirugía, que básicamente contiene los mismos pasos que nuestra propuesta pero varían los programas utilizados [20].

La precisión de los biomodelos manufacturados a través de la FFF es similar a los biomodelos generados a través de máquinas industriales [4][16], lo que otorga valor a nuestra propuesta, en el marco de las ciencias odontológicas.

Actualmente los biomodelos tridimensionales se están utilizando en la planificación quirúrgica [21][22][23] y en el intraoperatorio con sistemas de cirugía guiada [24][25][26][27]. Otro posible uso de los biomodelos podría ser dentro del contexto de comunicación cirujano-paciente, ayudando a ilustrar la intervención quirúrgica [28].

Las desventajas de la tecnología FFF son la imposibilidad de esterilización mediante los métodos convencionales en base a calor debido a que el PLA es termoplástico (alrededor de los 58 °C comienza a ser plástico) [29], por ende, si se pretende utilizar intraoperatoriamente se deben elegir métodos que no se basen en calor.

Faltan investigaciones que determinen cuál es el estándar para la planificación digital en base a biomodelos tridimensionales, en consecuencia, no se pueden realizar comparaciones completamente válidas entre las

distintas tecnologías de manufactura existentes [4][16]. Nuestra propuesta aporta en la determinación de ese estándar.

Conclusión

Es fundamental para los distintos profesionales forjar la inquietud, investigar y adaptarse a las tecnologías de fabricación digital que progresan precipitadamente en los últimos tiempos. Es un beneficio la aplicación de estas técnicas en las ciencias médicas, mejorando la calidad de todo el flujo quirúrgico. Debemos mencionar el escaso número de programas computacionales gratuitos para la obtención de biomodelos tridimensionales. Creemos y somos enfáticos, en que debería existir un mayor volumen de software de libre acceso a disposición de profesionales, visto la cantidad de beneficios que pueden gestarse en el ámbito de la salud. Nuestra propuesta muestra que es posible generar biomodelos anatómicos paciente-específicos a través de un flujo de trabajo de bajo costo (Figura 6), donde la precisión de los mismos es comparable con sistemas más costosos.

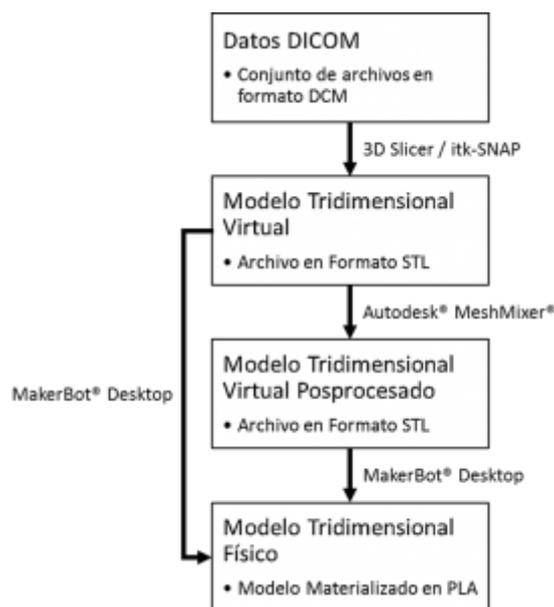


Figura 6. Resumen del flujo de trabajo propuesto.

Agradecimientos

A Constanza Fredericksen por su apoyo en el FAB851 en el comienzo de la investigación y a Daniela Schönfeldt por su gran ayuda en la edición gramatical del manuscrito.

Información del artículo

Recibido: 18-Agosto-2017.

Aceptado: 02-October-2017.

Publicado: 07-October-2017.

Aspectos éticos: Ausencia de conflicto de intereses.

Financiamiento: No informa.

Editores

Miguel Rodríguez S. Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil.

Luis Ignacio De Bellis. Universidad de Chile, Chile.

Referencias

1. Galhano GÁP, Pellizzer EP, Mazaro JVQ. Optical Impression Systems for CAD-CAM Restorations. Journal of Craniofacial Surgery [Internet]. 2012 Nov;23(6):e575-9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/SCS.0b013e31826b8043> [Source]
2. Baroudi K, Ibraheem S. Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature. J Int Oral Health. 2015 Apr 1;7(4):96-104. [PubMed]
3. Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. Journal of Oral Rehabilitation [Internet]. 2014 Jun 21;41(11):853-74. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/joor.12205>
4. Maschio F, Pandya M, Olszewski R. Experimental Validation of Plastic Mandible Models Produced by a "Low-Cost" 3-Dimensional Fused Deposition Modeling Printer. Med Sci Monit. 2016 Mar 22;22:943-57. [PubMed]
5. Bidgood W, Horii S, Prior F, Van S. Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging. J Am Med Inform Assoc. 1997 May 1;4(3):199-212. [PubMed]
6. Graham RNJ, Perriss RW, Scarsbrook AF. DICOM demystified: A review of digital file formats and their use in radiological practice. Clinical Radiology [Internet]. 2005 Nov;60(11):1133-40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2005.07.003>
7. Hanasono MM, Skoracki RJ. Computer-assisted design and rapid prototype modeling in microvascular mandible reconstruction. The Laryngoscope [Internet]. 2012 Sep 24;123(3):597-604. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/lary.23717>
- 8.

- Grimm T. User's Guide to Rapid Prototyping. Society of Manufacturing Engineers; 2004. 404 p.
9.
- Chua C Kai, Leong K Fai, Lim C Sing. Rapid Prototyping. World Scientific; 2010. 512 p.
10.
- Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin J-C, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. Magnetic Resonance Imaging [Internet]. 2012 Nov;30(9):1323-41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
11.
- TURKYILMAZ I, TÖZÜM TF, TUMER C. Bone density assessments of oral implant sites using computerized tomography. Journal of Oral Rehabilitation [Internet]. 2007 Apr;34(4):267-72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2842.2006.01689.x>
12.
- Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability. NeuroImage [Internet]. 2006 Jul;31(3):1116-28. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.015>
13.
- Gonzalez S Russell, Bennett D Beaubien. 3D Printing. Rowman & Littlefield; 2016. 190 p.
14.
- Athanasidou K, Niederauer G, Agrawal C. Sterilization, toxicity, biocompatibility and clinical applications of polylactic acid/polyglycolic acid copolymers. Biomaterials. 1996 Jan 1;17(2):93-102. [PubMed]
15.
- Sin L Tin, Rahmat A Razak, A. W. A. Rahman W. Polylactic Acid. William Andrew; 2012. 341 p.
16.
- Petropolis C, Kozan D, Sigurdson L. Accuracy of medical models made by consumer-grade fused deposition modelling printers. Plast Surg (Oakv). 2015 Jul 1;23(2):91-4. [PubMed]
17.
- Seitz H, Rieder W, Irsen S, Leukers B, Tille C. Three-dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials [Internet]. 2005;74B(2):782-8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/jbm.b.30291>
18.
- Rankin T, Mailey B, Cucher D, Giovinco N, Armstrong D, Gosman A. Use of 3D Printing for Auricular Template Molds in First Stage Microtia. Plast Reconstr Surg [Internet]. 2014;(134):16-7. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00006534-201410001-00023> [Source]
19.
- Tan H, Yang K, Wei P, Zhang G, Dimitriou D, Xu L, et al. A Novel Preoperative Planning Technique Using a Combination of CT Angiography and Three-Dimensional Printing for Complex Toe-to-Hand Reconstruction. Journal of Reconstructive Microsurgery [Internet]. 2015 Mar 18;31(05):369-77. Available from: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1546419>
20.
- Naftulin JS, Kimchi EY, Cash SS. Streamlined, Inexpensive 3D Printing of the Brain and Skull. Martens L, editor. PLOS ONE [Internet]. 2015 Aug 21;10(8):e0136198. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0136198>

21.
Li Y, Jiang Y, Ye B, Hu J, Chen Q, Zhu S. Treatment of Dentofacial Deformities Secondary to Osteochondroma of the Mandibular Condyle Using Virtual Surgical Planning and 3-Dimensional Printed Surgical Templates. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2016 Feb;74(2):349-68. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2015.06.169>
22.
Chow LK, Cheung LK. The Usefulness of Stereomodels in Maxillofacial Surgical Management. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2007 Nov;65(11):2260-8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2006.11.041>
23.
Cunningham LL Jr, Madsen MJ, Peterson G. Stereolithographic Modeling Technology Applied to Tumor Resection. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2005 Jun;63(6):873-8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2005.02.027>
24.
Cousley RR, Turner MJ. Digital model planning and computerized fabrication of orthognathic surgery wafers. *Journal of Orthodontics* [Internet]. 2014 Mar;41(1):38-45. Available from: <http://dx.doi.org/10.1179/1465313313Y.0000000075> [Source]
25.
Mazzoni S, Bianchi A, Schiariti G, Badiali G, Marchetti C. Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Cutting Guides and Customized Titanium Plates Are Useful in Upper Maxilla Waferless Repositioning. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2015 Apr;73(4):701-7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2014.10.028>
26.
Shan X-F, Chen H-M, Liang J, Huang J-W, Cai Z-G. Surgical Reconstruction of Maxillary and Mandibular Defects Using a Printed Titanium Mesh. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2015 Jul;73(7):1437.e1-1437.e9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2015.02.025>
27.
Metzler P, Geiger EJ, Alcon A, Ma X, Steinbacher DM. Three-Dimensional Virtual Surgery Accuracy for Free Fibula Mandibular Reconstruction: Planned Versus Actual Results. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2014 Dec;72(12):2601-12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2014.07.024>
28.
Wulf J, Vitt K, Erben C, Bill J, Busch L. Medical biomodelling in surgical applications: results of a multicentric European validation of 466 cases. *Stud Health Technol Inform*. 2003 Jan 1;94:404-6. [PubMed]
29.
Lim L-T, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science* [Internet]. 2008 Aug;33(8):820-52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004>