

## Metodología alternativa para elaborar modelos geométricos de anatomía dental

Alternative methodology to elaborate geometrical models of dental anatomy

Junes Abdul Villarraga-Ossa<sup>1</sup>, Juan Gustavo Diossa-Peña<sup>2</sup>, Sandra Melisa Vélez-Muriel<sup>3</sup>, Federico Latorre-Correa,<sup>4</sup> Julio Cesar Escobar Restrepo<sup>5</sup>

1. Ingeniero Mecánico, Master en ingeniería, candidato a doctor en Ingeniería Grupo Diseño Mecánico GDM, Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. E-mail: [junes.villarraga@udea.edu.co](mailto:junes.villarraga@udea.edu.co)
2. Ingeniero mecánico, Estudiante de maestría en Ingeniería Mecánica. Grupo Diseño Mecánico GDM, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. E-mail: [juan.diossa@udea.edu.co](mailto:juan.diossa@udea.edu.co)
3. Estudiante de Ingeniería Mecánica. Grupo Diseño Mecánico GDM, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. E-mail: [melisa.velez@udea.edu.co](mailto:melisa.velez@udea.edu.co)
4. Especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prostodoncia, Profesor asociado, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. E-mail: [flatorre@une.net.co](mailto:flatorre@une.net.co)
5. Especialista en Odontología integral del adulto con énfasis en Prostodoncia, profesor asistente, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. E-mail: [jcer75@yahoo.com](mailto:jcer75@yahoo.com)

Recibido: enero de 2015. Aprobado: noviembre de 2015

### Resumen

Se pretende proponer una metodología alternativa para elaborar modelos geométricos de anatomías dentales para estructuras de dientes incisivos y caninos, y crear modelos CAD apropiados para un posterior estudio por método.

Se describe la metodología aplicándola a la construcción de un Incisivo maxilar lateral izquierdo, donde posteriormente se analiza, a modo de ejemplo, el comportamiento del elemento creado bajo una carga de 200 N; esta carga genera un desplazamiento de 27  $\mu\text{m}$  y un esfuerzo Von Mises máximo de 92.588 MPa.

**Palabras clave:** modelos dentales, diseño asistido por computador, diente canino, incisivo.

### Abstract

The aim of this article is to propose an alternative methodology to elaborate geometrical models of dental anatomy for incisors and canines structures, and to create appropriate CAD models for a further numerical method study.

The methodology is described applying it to the construction of a maxillary left lateral incisor. Then the created element is analyzed, as an example, under a load of 200 N. This load generates a displacement of 27  $\mu\text{m}$  and a maximum Von Mises stress of 92.588 MPa.

**keywords:** dental models, finite element analysis, computer-assisted numerical analysis.

## Introducción

Uno de los pasos preliminares a la hora de estudiar el comportamiento de restauraciones y prótesis dentales por métodos numéricos, es la obtención de modelos digitales o CAD (Computer Aided Design por sus siglas en inglés) de los elementos a estudiar. La solución de problemas por medio de métodos numéricos presenta resultados aproximados, por esto es importante que los modelos adquiridos sean precisos y que representen fielmente, tanto como sea posible, la anatomía y fisiología del sistema en cuestión(1). Existen diversos métodos para la obtención de modelos CAD tales como sondeo por contacto(2), tomografías micro computarizadas (micro CT)(2-5), cámaras 3D(6), digitalización por medio de escáneres (2,7), láseres(2), entre otros.

La alternativa más utilizada es el micro CT ya que ésta asegura una alta fidelidad de los modelos obtenidos con los modelos reales, esta consiste en formar imágenes 3D a partir de rayos x. La resolución de las imágenes depende del equipo utilizado, por lo general es aproximadamente de 15µm. Sin embargo la obtención de modelos CAD mediante esta alternativa tiene como desventajas la elevada inversión económica para adquirir los equipos y el pos procesamiento de la nube de puntos que se genera. Esto último demanda una persona capacitada para crear las superficies necesarias a partir de los resultados obtenidos del micro CT, también en ocasiones se dificulta diferenciar y separar determinado tipo de tejidos, lo cual implica mayor tiempo y presupuesto para la obtención de un modelo CAD adecuado para emplearse en simulaciones numéricas.

Anteriormente el modelado CAD de estructuras odontológicas, ha sido utilizado simplificando la geometría de las mismas, la mayoría de las veces reduciéndolas a elementos bidimensionales o aproximándolas a estructuras que emplean geometrías simples, como puede ser las cúbicas (8).

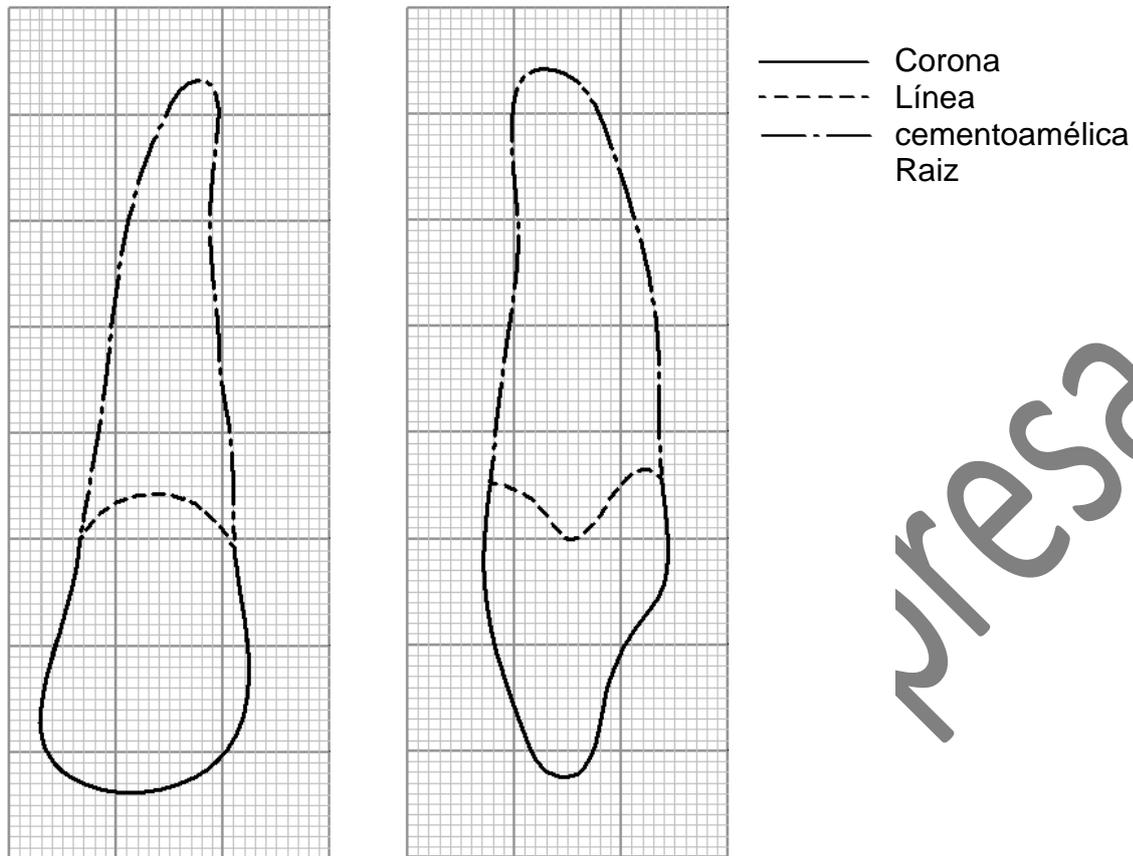
Por lo anteriormente expuesto se propone como alternativa una metodología para elaborar modelos geométricos de piezas y prótesis dentales óptimos para su análisis por métodos numéricos. En la actualidad se han elaborado trabajos con la metodología propuesta (9-12), los cuales muestran resultados acordes a la literatura y los estudios clínicos. Otros investigadores han realizados estudios con metodologías similares aplicándolas a huesos, molares y restauraciones (13-15). El procedimiento que se presenta en este artículo es una alternativa rápida, económica, que garantiza buenos resultados y facilita realizar los modelos de restauraciones y remanentes anatómicos, válida para estructuras de dientes incisivos y caninos; teniendo la posibilidad de extender la estrategia a dientes molares.

## Materiales y métodos

Para generar un modelo CAD de los dientes se crean superficies en el software Solid Works(16) basadas en bocetos guía que representan los contornos del elemento dental a modelar; para crear apropiadamente el modelo, el proceso se divide en tres, para crear cada uno de los siguientes elementos: Raíz, Línea Cementoamélica y Corona. Con esta división se han obtenido muy buenos modelos que presentan dos grupos de superficies para definir la raíz y la corona, lo cual es altamente recomendado para la realización del mallado en el procesamiento del modelo de elementos finitos, puesto que presentan una transición apropiada entre la raíz y la corona. Para ilustrar la metodología se presenta paso a paso como se elabora un incisivo maxilar lateral izquierdo. En la Figura 1 se observan las vistas vestibular y mesial de dicho diente. A continuación se describe el procedimiento para la creación de cada uno de los elementos mencionados.

### Raíz

Se genera el perfil lateral del diente a partir de imágenes provenientes de literatura, radiografías o tomografías, debido a que así se proporciona mayor detalle de la forma y posición de la línea cementoamélica. Posteriormente se copia el contorno frontal uniendo ambos perfiles desde el punto más alto A, cuidando que los cuatro puntos de la zona más cercana a la corona sean coplanares (B, C, D, E) (Figura 2a). Se genera una curva que pase a través de los puntos B, C, D, E para completar la estructura base de la raíz. Se recomienda crear dos superficies independientes para el contorno de la raíz y otra para el ápice de la raíz y así facilitar la creación del modelo (Figura 2b).



(a)

(b)

**Figura 1.** Incisivo maxilar lateral izquierdo: a) Vista Vestibular y b) Vista Mesial

### Línea Cementoamélica

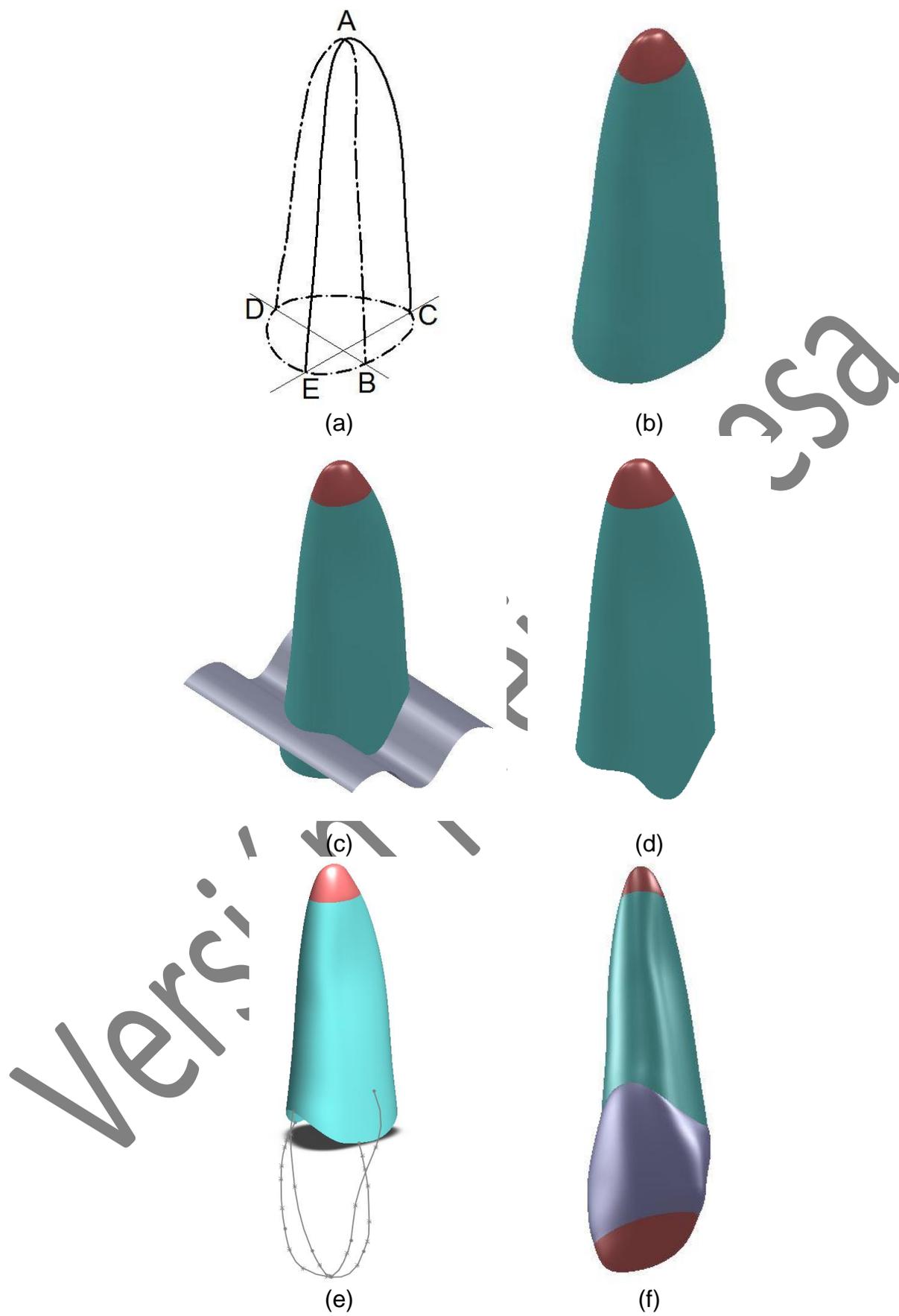
Una vez creada la raíz por completo, se observa desde una posición lateral (Mesial o Distal) y se crea un perfil que represente la proyección de la línea cementoamélica (líneas punteadas en la Figura 1). Se genera una superficie basada en dicho perfil que abarque todo el modelo (Figura 2c) y se elimina la zona excedente (Figura 2d)

### Corona

Usando una estrategia similar a la utilizada en la raíz, se copia el perfil lateral del diente, cuidando de unirlo al borde que representa la línea cementoamélica. De igual forma se dibuja el contorno de la vista vestibular, uniendo ambos perfiles en el punto del extremo inferior (Figura 2e).

En el modelado de la corona, también se recomienda generar dos superficies independientes (Una para la zona inferior de la corona y otra para el borde incisal)

Al llegar a esta parte del proceso, las superficies generadas para representar el modelo geométrico del diente pueden tener magnitudes que exceden los tamaños de un diente promedio, por lo que es necesario escalar el modelo para obtener una representación fiel en tamaño y forma del diente. (Figura 2f)



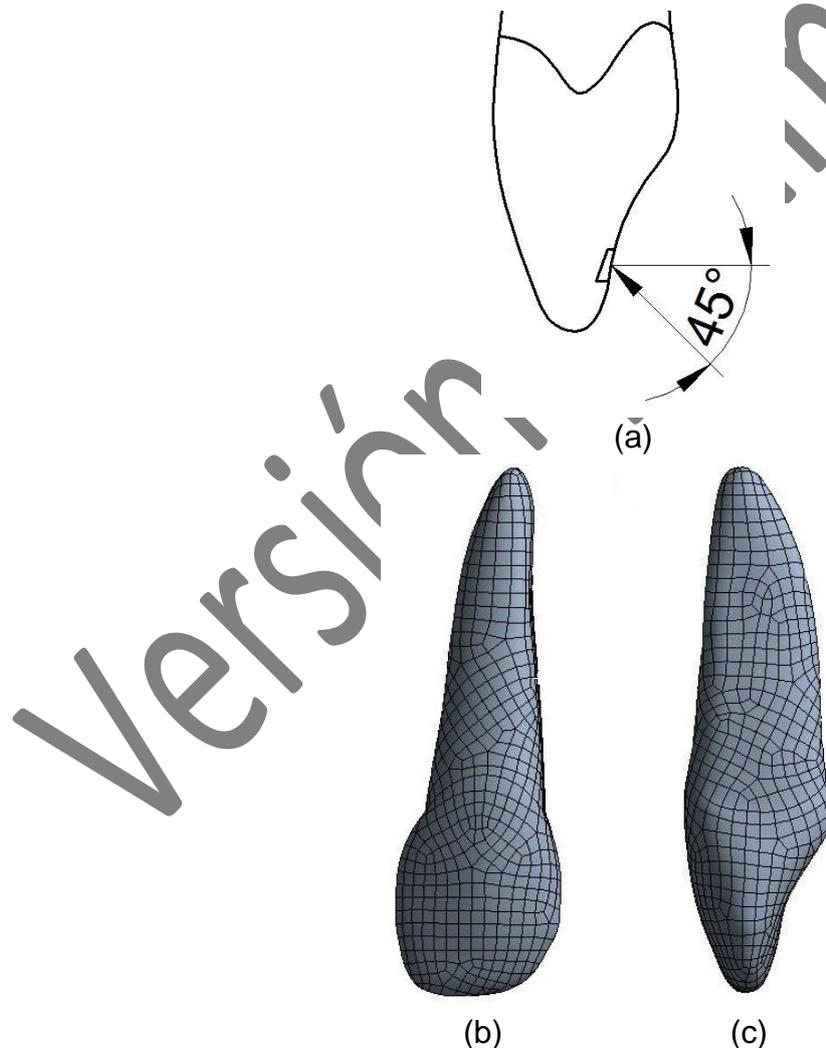
**Figura 2.** Modelado geométrico de un Incisivo maxilar lateral izquierdo: a) Contornos de la raíz, b) superficie de la raíz, c) Perfil de la línea cementoamélica, d) Superficie de la raíz modificada, e) Contorno de la corona y f) Pieza dental terminada

### Ejemplo de Análisis por Método de Elementos Finitos (Mef)

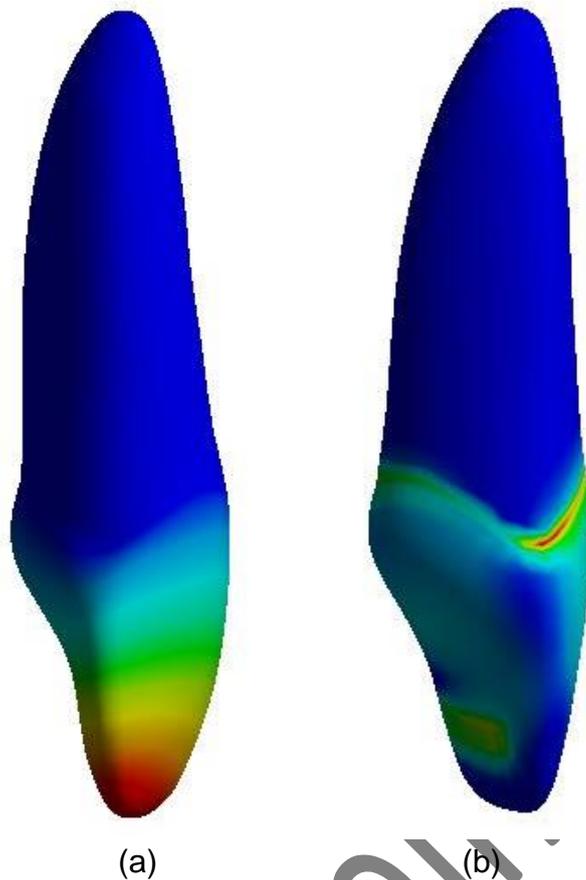
Esta herramienta tiene un gran potencial en resolver cualquier tipo de problemas, sobre todo aquellos en los que se involucran componentes biológicos ya resuelven problemas físicos con geometrías complejas, los cuales no se pueden solucionar empleando métodos analíticos(17).

Para mostrar su uso, se plantea un problema sencillo en el cual el diente modelado se carga con una fuerza estática de 200N en la zona lingual de la corona,  $45^\circ$  respecto al eje axial del diente (Figura 3a) y se restringe en su raíz, lo cual simula una condición de masticación normal sobre el diente. Se discretizó en el Software Ansys® 14(18) con elementos Hexaédricos de un tamaño máximo de 0.5 mm, para un total de 27076 nodos (ver figura 3b y 3c). La dentina se modeló como un material isotrópico con un módulo de elasticidad de 18 600 MPa y una relación de Poisson de 0.31(19).

Bajo estas condiciones, el diente presentaría una deformación máxima de  $27 \mu\text{m}$  y un esfuerzo de von Mises máximo de 92.588 MPa, estos resultados se presentan en la Figura 3Figura 4a y en la Figura 4b respectivamente. Debe aclararse que esto no representa el comportamiento real del sistema, pero es útil a manera de ejemplo para que el lector visualice las ventajas al utilizar esta metodología en un problema de simulación numérica utilizando MEF.



**Figura 3.** Modelado numérico de Incisivo maxilar lateral izquierdo, a) Dirección y sentido de la carga de 200 N, b) Vista Vestibular (Frontal) de la Malla y c) Vista Mesial (Lateral) de la malla.



**Figura 4.** Resultados del estudio numérico del Incisivo maxilar lateral izquierdo: a) Desplazamientos b) Esfuerzos von Mises.

#### Discusión y Conclusiones

El modelado de sistemas biológicos por medio de métodos numéricos es una alternativa o un complemento a los estudios clínicos e *in vitro*. Para que este tipo de estudios representen adecuadamente el comportamiento de los sistemas analizados, se debe utilizar modelos geométricos lo más fieles posibles; existiendo diferentes metodologías como el sondeo por contacto, micro CT, cámaras 3D, digitalización por medio de escáneres, entre otras. Se propone una metodología económica, simple, rápida y adecuada para elaborar modelos geométricos de anatomía dental, presentando alta similitud en forma y aspecto con los dientes reales; uno de los principales beneficios de este procedimiento es que se genera un número mínimo de superficies (comparados con los generados por métodos de escaneo) que facilitan el posterior proceso discretizado, además facilitar su edición para crear restauraciones protésicas (9-12).

En contraste con los modelos generados por escaneo o Micro CT, procesos que necesitan un tratamiento posterior de la geometría lo cual puede tomar aproximadamente cuatro horas(20), las geometrías creadas con esta metodología son elaboradas en un solo proceso que toma en promedio una hora y media, teniendo un ahorro de al menos un 50 % de tiempo.

Se pretende que a futuro se utilice este tipo de análisis biomecánicos con implantes y prótesis, minimizando la necesidad de estudios experimentales, calculando y diseñando de manera más eficiente mediante simulaciones numéricas. Es fundamental conocer el comportamiento de los tejidos para desarrollar prótesis y dispositivos que se asemejen de manera precisa y adecuada al comportamiento biomecánico, y de esta forma se integren más fácilmente y ayuden al paciente a su adaptación.

## Referencias

1. Henninger HB, Reese SP, Anderson AE, Weiss JA. Validation of Computational Models in Biomechanics. *Proc. Inst. Mech. Eng.* 2010;224: 801–812.
2. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: Current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent. Mater. J.* 2009; 28(1): 44–56.
3. Paqué F, Ganahl D, Peters OA. Effects of Root Canal Preparation on Apical Geometry Assessed by Micro-Computed Tomography. *J. Endod.* 2009;35(7):1056–1059 .
4. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dent. Mater.* 2007; 23(5):539–548.
5. Limbert G, Lierde CV, Muraru OL, Walboomers XK, Frank M, Hansson S, et al. Trabecular bone strains around a dental implant and associated micromotions—A micro-CT-based three-dimensional finite element study. *J. Biomech.* 2010;43(7):1251–1261.
6. Otto T, De Nisco S. Computer-Aided Direct Ceramic Restorations: A 10-Year Prospective Clinical Study of Cerec CAD/CAM Inlays and Onlays. *Int. J. Prosthodont.* 2002;15(2):122–128 .
7. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int. Endod. J.* 2001;34(3):221–230.
8. Koriath TWP, Versluis A. Modeling the Mechanical Behavior of the Jaws and Their Related Structures By Finite Element (Fe) Analysis. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 1997;8(1):90–104 .
9. Pineda EA, Escobar JC, Latorre F, Villarraga JA. Comparación de la resistencia de tres sistemas cerámicos en tramos protésicos fijos anteriores. Análisis por elementos finitos. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2013; 25(1): 44-75.
10. Márquez C, Escobar JC, Latorre F, Villarraga J. Distribución de esfuerzos en tramos protésicos fijos de cinco unidades con pilar intermedio: análisis biomecánico utilizando un modelo de elementos finitos. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2011; 22(2): 153-163.
11. Lopera P, Latorre F, Villarraga JA. Evaluación no lineal de dos postes diferentes. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2012; 23(2):240-255.
12. Orozco M, Villarraga JA, Latorre F, Escobar JC. Influencia de los materiales de cementación en la distribución de los esfuerzos en un incisivo central superior rehabilitado con poste. Análisis de elementos finitos. *Rev Fac Odontol Univ Antioq.* 2011;23( 1 ): 56-75.
13. Chou HY, Müftü S, Bozkaya D. Combined effects of implant insertion depth and alveolar bone quality on periimplant bone strain induced by a wide-diameter, short implant and a narrow-diameter, long implant. *J. Prosthet. Dent.* 2010;104(5):293–300.
14. Bahrami B, Shahrabaf S, Mirzakouchaki B, Ghalichi F, Ashtiani M, Martin N . Effect of surface treatment on stress distribution in immediately loaded dental implants—A 3D finite element analysis. *Dent. Mater.* 2014;30(4):89–97.

15. Mahmoudi M, Saidi A, Nassab SAG, Hashemipour MA. A three-dimensional finite element analysis of the effects of restorative materials and post geometry on stress distribution in mandibular molar tooth restored with post-core crown. *Dent. Mater. J.* 2012;31(2):171–179.
16. Dassault Systèmes SolidWorks Corp. *Solid Works 2010*. (Dassault Systèmes SolidWorks Corp.).
17. Hernández AF, Rodríguez RG, Susarrey O, Merchán EA, Sandoval JM, Pérez E. Aplicación de metodología de modelado 3D utilizando Tomografías Computarizadas para su análisis numérico. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*.2014;72:117-126.
18. *ANSYS 14.0*. (SAS IP, Inc, 2011).
19. Reinhardt RA, Krejci RF, Pao YC, Stannard JG. Dentin Stresses in Post-reconstructed Teeth with Diminishing Bone Support. *J. Dent. Res.*1983; 62(9):1002–1008.
20. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J. Dent. Res.*2000; **79(6)**:1405–1409.

Versión preimpresión