

Integración de la ingeniería en la odontología

Eneko Solaberrieta, Rikardo Minguez, Lander Barrenetxea, Olatz Etxaniz, Nestor Goikoetxea, José Ramón Otegi, Aritza Brizuela y Agustín Arias
Universidad del País Vasco UPV/EHU

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/6938>

1. INTRODUCCIÓN

Al igual que ocurre en otras ramas de la medicina [1], la odontología ofrece un largo historial de soluciones a las diversas necesidades de los pacientes, especialmente en lo referente a la fabricación de restauraciones dentales, que permiten a los pacientes recuperar las funciones de la cavidad oral. La peculiaridad de las prótesis dentales frente a otros productos industriales convencionales es que el diseño y fabricación de estas piezas dentales siempre ha de ser a medida, es decir, de forma personalizada. En los últimos años, la odontología está experimentando un avance sin precedentes. Conceptos y técnicas que hasta hace bien poco parecían incuestionables, están ahora en pleno proceso de revisión. Gracias a los últimos avances tecnológicos, algunos procedimientos habituales en el área técnico-protésica que durante los últimos años prácticamente no han experimentado variación alguna, por ejemplo, el colado convencional [2], están siendo revisados y mejorados sustancialmente. Debido a la creciente demanda de funcionalidad, seguridad, estética y diseño a medida, la tecnología asistida por ordenador (CAD/CAM: *Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) está adquiriendo cada vez más importancia

en odontología.

La utilización de la tecnología más avanzada permite no sólo mejorar la calidad de las restauraciones dentales sino que además, su proceso de fabricación resulta mucho más eficiente. Algunos sistemas asistidos por ordenador han desarrollado una amplia gama de aplicaciones en este campo como por ejemplo, la digitalización en 3D, el diseño asistido por ordenador (CAD), la ingeniería inversa [3] (RE: *Reverse Engineering*), la ingeniería asistida por ordenador (CAE: *Computer Aided Engineering*), el mecanizado asistido por ordenador (CAM) [4], la fabricación rápida (RM: *Rapid Manufacturing*), el prototipado rápido (RP: *Rapid Prototyping*) [3], la inspección asistida por ordenador (CAI: *Computer Aided Inspection*), la calidad asistida por ordenador (CAQ: *Computer Aided Quality*), etc. El desarrollo y la aplicación de estas tecnologías y sistemas han allanado el camino para la introducción de grandes avances, especialmente en lo que concierne a la fabricación y la calidad de restauraciones dentales, así como la implantología.

En los países industrialmente desarrollados, especialmente durante la última década, los esfuerzos se han centrado en la digitalización, modelado y fabricación de restauraciones dentales mediante la introducción de modernos equipos tecnológicos, materiales de última generación y nuevas tecnologías de mecanizado. Sin embargo, en los países en desarrollo, la práctica totalidad de las prótesis dentales se sigue fabricando siguiendo el método tradicional, que

al ser principalmente manual es, por lo tanto, propenso a errores. Siempre con la vista puesta en el desarrollo de nuevas soluciones originales, este estudio pretende impulsar una cooperación más intensa entre las dos disciplinas, la odontología (en especial, prótesis dentales) y la ingeniería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SISTEMAS CAD/CAM

La historia de los Sistemas CAD/CAM empezó en 1971 gracias al Dr. Duret [5] que fue el primero en desarrollar la odontología asistida por ordenador. El segundo referente en este campo fue el Dr. Mormann, que desarrolló el Sistema CEREC. El Dr. Mormann trató de implantar esta nueva tecnología a nivel de consultorio dental.

El esquema a continuación muestra el proceso de diseño de una prótesis dental mediante un sistema CAD/CAM dental general (Figura 1).

Los sistemas de CAD/CAM, están compuestos por tres componentes funcionales: un sistema de digitalización (escáner 3D), el diseño (modelado en 3D) y un sistema de fabricación. El escáner digitaliza la dentadura (real o el modelo) y, con el programa informático adecuado para el diseño virtual, esta dentadura es procesada por un ordenador. Posteriormente, utilizando el material necesario en cada caso, una máquina de mecanizado fabrica la prótesis.

En este estudio se han incluido 2 fases intermedias, la transferencia y la simulación mediante el articulador virtual, que hasta hace muy poco se realizaban siguiendo el método manual tradicional. A día de hoy, y gracias a algunas propuestas digitales, los sistemas dentales CAD/CAM [6] han experimentado importantes avances.

Sin embargo, la gran desventaja que presentan estos sistemas hoy en día es el coste de inversión que requieren, por lo que para que sean económicamente viables se debe lograr producir mediante estos sistemas un considerable número de restauraciones de calidad. Además, muchos de los sistemas existentes son sistemas “cerrados”, es decir, que obligan al usuario a tener que fabricar las prótesis con la misma empresa con la que se ha realizado la digitalización.



Fig. 1: Proceso en un sistema CAD/CAM dental general

2.2. DIGITALIZACIÓN

La digitalización tridimensional de los sistemas CAD/CAM dentales consiste en registrar la posición espacial de la superficie oclusal, es decir, en identificar y situar en el espacio la nube de puntos que forman las arcadas maxilar y mandibular.

Este escaneado se puede realizar utilizando diferentes dispositivos correspondientes a distintos tipos de procedimientos, cada uno con sus propias características. La mayoría de los sistemas CAD/CAM comerciales para la odontología parten de un modelo de yeso cuya superficie se mide mediante distintos dispositivos para obtener los datos digitales que representan la morfología de los dientes a escanear. Estos dispositivos de medición, llamados digitalizadores o escáneres, han mejorado sustancialmente en los últimos años. En la actualidad los métodos disponibles en la práctica odontológica son un láser medidor de desplazamiento y una luz estructurada (Figura 2).

Cabe destacar que, a día de hoy, el escáner es un elemento diferenciador cuando es intraoral. Entre otras firmas, destacan *Bluecam®* (Sirona), *Itero®*, *Lava®* (3M), *TRIOS®* (3Shape) y *Zfx®* (Figura 2). La utilización de un escáner intraoral conlleva varias ventajas, como por ejemplo, el hecho de no tener que realizar los modelos en yeso, y además, poder registrar las mordidas directamente en boca.

2.3. TRANSFERENCIA

Los sistemas actualmente disponibles en el mercado precisan aún de importantes mejoras en lo referente a la transferencia de los datos del paciente al programa informático de diseño o al articulador virtual. No obstante, en los últimos años se han producido notables avances, algunos de los cuales se muestran a continuación.



Fig. 3: La transferencia. A: Arco facial digital. B: impresión de implantes digital. C: un escáner facial

2.3.1. Arco facial digital

Este instrumento sirve para transferir directamente las arcadas digitalizadas del paciente al articulador virtual en su posición individualizada. Con las mejoras en esta tecnología, se espera que el diseño de prótesis dentales llegue a ser totalmente digital, con lo que se agilizaría notablemente el proceso de producción de restauraciones protésicas. Aunque la digitalización total de este procedimiento constituye sin duda un avance fundamental para mejorar el diagnóstico y el tratamiento de cualquier caso, es difícil prever la magnitud y los efectos de este importante avance. La agilización de la transferencia de los modelos al articulador virtual puede fomentar decisivamente el uso del mismo y por consiguiente, mejorar significativamente el proceso de producción de restauraciones protésicas.

A día de hoy existe una primera aproximación a un arco facial digital [7], en la que mediante un puntero se posiciona la arcada maxilar en un articulador virtual (Fig. 3A).

2.3.2. Impresión de implantes digital

Otro avance novedoso en odontología es el procedimiento *PIC dental* (www.picdental.com, Madrid, Spain) que es una técnica de impresión de implantes digital (Figura 3B). Se trata de un método que agiliza la toma de im-

presiones sobre implantes en la clínica, facilita el diseño virtual de las estructuras CAD/CAM y aumenta la calidad de la prótesis.

El procedimiento consiste en atornillar sobre pilares unos aditamentos con una codificación individual única que permite su identificación por medio de dos cámaras especialmente diseñadas y optimizadas para su uso clínico. De esta forma los datos específicos de la boca de cada paciente se toman directamente, lo que supone una reducción de pasos y por tanto, de la disminución del número de errores que se cometen tanto si se sigue el sistema tradicional como si se emplean los sistemas CAD/CAM. Las principales ventajas de ésta técnica son la sencillez de su aplicación, su rapidez y su precisión.

2.3.3. Escaner facial

Uno de los últimos avances en odontología es la introducción del “paciente dental virtual” en el flujo de trabajo digital. Este paciente virtual consta de varias partes o elementos, algunos de los cuales son imprescindibles como son, por ejemplo, las arcadas maxilar-mandibulares y su ubicación, el registro de los movimientos mandibulares, el registro de mordidas, etc. Sin embargo, lo que hace que se hable de “paciente dental virtual” en lugar de “articulador virtual” es la geometría 3D de la cara del paciente, así como su geometría en la posición gestual de su sonrisa (Figura 3C). Con esos últimos datos, se obtiene un paciente en un entorno virtual, ciertamente más próximo al paciente real que el articulador virtual. Por ejemplo, destaca el “smile design” de Sirona® (Figura 3). Estas tecnologías ofrecen imágenes foto-realistas en 3D que permiten a los profesionales decidir fundamentalmente sobre los resultados que desean y/o pueden obtener con sus tratamientos.

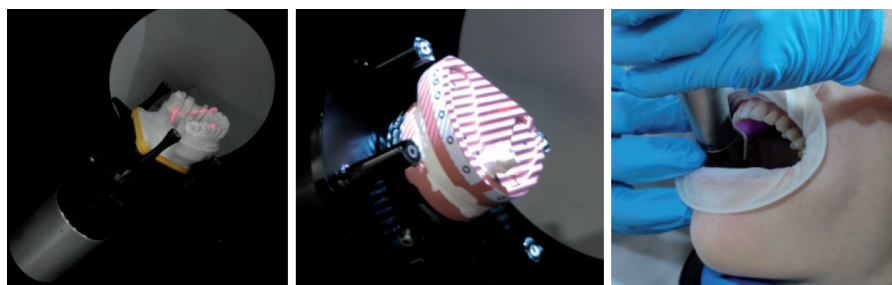


Fig. 2: Métodos de digitalización: A: mediante haz de láser. B: luz blanca estructurada. C: escáner intraoral

2.4. SIMULACIÓN CON ARTICULADOR VIRTUAL

En odontología, tanto por motivos técnicos y de comodidad como para poder prever los resultados, algunos procedimientos deben probarse y/o realizarse fuera de la boca del paciente. De entre estos procedimientos, destacan el diagnóstico oclusal, el equilibrado oclusal y la elaboración de prótesis dentales. Estos procedimientos obligan a disponer ‘extra ore’ de una réplica mecánica del aparato masticatorio humano en la que llevarlos a cabo.

Los elementos básicos para obtener dicha réplica mecánica (estática y cinemática) son: un arco facial, un articulador, los modelos de yeso y un registro interoclusal. Siendo meticulosos y rigurosos con el procedimiento, los resultados obtenidos son transferibles a la oclusión del paciente con tan sólo unos pocos ajustes de la superficie oclusal.

Pero nunca debe olvidarse que tal réplica, por mucho que se asemeje a la situación estático-cinemática cráneo-mandibular del paciente, no es una imitación exacta: es ciertamente imposible clonar la naturaleza, con toda su complejidad. Las principales causas de dichas inexactitudes son, entre otras, cierta arbitrariedad al localizar los puntos craneales de referencia, la contracción o expansión de los materiales de impresión, el vaciado y fijación de modelos, la deformación del material de registro interoclusal, y las diferencias mecánicas entre un articulador y el aparato masticatorio. A día de hoy, desde el punto de vista de la cinemática, el simulador que más se asemeja a la realidad del paciente y que más posibilidades ofrece es el articulador virtual.

Actualmente existen varios articuladores virtuales en el mercado, pero el pionero en este campo fue Szentpétery [8]. El articulador dental virtual de Andras Szentpétery, *Universidad Martin-Luther de Halle* (Alemania), (Figura 4) se basa en un modelo matemático que dirige los movimientos mandibulares. Se trata de un articulador dental virtual tridimensional completamente ajustable, capaz de simular todos los movimientos del articulador, así como otros movimientos que son difícilmente simulables mecánicamente, por ejemplo, un movimiento de Bennett curvado.

El articulador virtual ‘DentCam’ de Gaertner y Kordass [9], de la *Univer-*

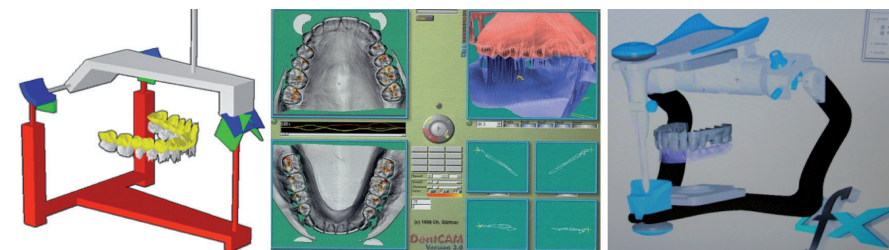


Fig. 4: Articuladores virtuales. A: articulador virtual de Szentpétery. B: interface del articulador virtual de Kordass y su registrador de movimiento. C: articulador virtual de Zfx®

sidad de Greifswald de Alemania, fue diseñado para registrar el movimiento exacto en las trayectorias mandibulares con un sistema de registro electrónico del movimiento mandibular denominado ‘Jaw Motion Analyser’ de Zebris® (Zebris Medical GmbH, Isny, Germany) (Figura 4). Además, mueve electrónicamente las arcadas dentales digitalizadas a lo largo de esas trayectorias de movimiento registradas en la memoria del ordenador.

Los sucesores de estos articuladores son el *Exocad®* y *3Shape®*, los desarrolladores de código fuente. Otras muchas marcas cuentan con su propia versión de articulador, como por ejemplo el *Zfx®* (Figura 4), *Sirona®*, etc. En general, se puede afirmar que el programa informático CAD/CAM mejora año tras año y que el articulador virtual va integrado cada vez en más sistemas, lo que permite tener en cuenta la cinemática de cada paciente en el diseño o modelado de cada pieza.

2.5. MODELADO O DISEÑO

En la actualidad se dispone de varios programas informáticos de CAD comerciales para el diseño virtual 3D de restauraciones dentales (en una pantalla del ordenador) (Figura 5). Estos programas pueden diseñar restauraciones igualando la excelencia de las restauraciones producidas por técnicos dentales siguiendo el método convencional. En la mayoría de los sistemas automatizados, el usuario tiene generalmente la opción de modificar la restauración

para adaptarla a sus preferencias. Al igual que los sistemas de adquisición de datos, las aplicaciones informáticas comerciales son “cerradas”, es decir, no permiten el intercambio de información con otros sistemas.

2.6. FABRICACIÓN: MECANIZADO Y PROTOTIPADO

En general, según la técnica que empleen, los sistemas de fabricación asistidos por ordenador (CAM) pueden clasificarse en sistemas aditivos y sistemas sustractivos. Estos últimos se basan casi exclusivamente en la eliminación del material con el uso de fresadoras (Figura 5) partiendo de un bloque prefabricado. En la fabricación sustractiva se generan formas de manera eficaz, pero la desventaja es que mucho material es desperdiciado. La alternativa es el sistema aditivo, como el utilizado en la elaboración de prototipos rápidos. Estas tecnologías están empezando a cada vez ser más importantes en odontología. El sinterizado selectivo por láser es una de las tecnologías que pueden ser utilizadas para la fabricación de las restauraciones de cerámica o de metal, sin desperdicio de material.

Debido al alto número de sistemas CAD/CAM disponibles y la amplia variedad de tamaño y costo, han surgido diferentes modelos comerciales para la producción de restauraciones CAD/CAM. Estos modelos se pueden agrupar en tres tipos o categorías: los sistemas de consulta, los sistemas de laboratorio dental y los laboratorios dentales que



Fig.5: Restauraciones dentales. A: por sustracción de material. B: por sinterizado selectivo por láser de una aleación en polvo. C: prototipado rápido

trabajan en colaboración con un centro de producción en red.

Muchos de los materiales de cerámica utilizados en el procedimiento tradicional pueden ser empleados con las técnicas de CAD/CAM. Aunque sean monocromáticos, estos materiales cerámicos ofrecen una excelente estética, biocompatibilidad, gran estabilidad del color, baja conductividad térmica, así como una excelente resistencia al desgaste.

Paralelamente, el prototipado rápido (Figura 6) ha entrado con fuerza en odontología [10] y se utiliza en múltiples productos que acortan los plazos de trabajo con los pacientes y mejoran la precisión y por lo tanto, la efectividad de las técnicas empleadas en los servicios protésicos y odontológicos. El prototipado sirve para fabricar con gran precisión modelos de yeso directamente desde los archivos digitales de escaneado oral y permite producir prototipos de carillas reales para que los pacientes se las prueben antes de hacer un pedido o de colocar las carillas definitivas, así como entregar guías quirúrgicas y aparatos ortodóncicos [11] directamente desde el programa informático seleccionado, o producir rápidamente y con gran precisión series de alineadores y retenedores desde los archivos digitales.

3. DISCUSIÓN

En una sociedad como la nuestra, cada día más envejecida, como la nuestra, los avances en todo lo relacionado con la salud cobran mayor importancia y deben ser priorizados. Por lo tanto, para la odontología del futuro, el empleo de nuevos materiales y de las nuevas tecnologías será primordial. En este sentido, se puede afirmar que la tecnología CAD/CAM contribuirá en gran medida a un sano envejecimiento de los pacientes.

Como se puede ya apreciar en los sectores industriales, la normalización de los sistemas CAD/CAM facilitará la expansión de esta nueva tecnología y reemplazará a la tecnología convencional del laboratorio dental. Además, los sistemas CAD/CAM también estarán disponibles en los centros educativos y como herramientas de formación en la práctica dental diaria, con materiales explicativos para pacientes, material de diagnóstico, así como para simulacio-

nes de procedimientos quirúrgicos.

Actualmente, en lo que se refiere a los tipos de restauración y las opciones de material, aún no se cuenta con un sistema completamente automatizado que ofrezca la misma funcionalidad, versatilidad y flexibilidad que ofrecen los métodos de fabricación convencionales. A día de hoy, la investigación está centrada en el desarrollo de escáneres intraorales, y esto podría conducir, en última instancia, a la eliminación de las impresiones y modelos de yeso. Los digitalizadores o escáneres del futuro, a pesar de la gran variedad de restauraciones posibles, serán mejores y facilitarán datos correctos, y podrán incluso tener en cuenta las diferencias en la saliva y los tejidos blandos de un paciente a otro. Esto significa que los datos relativos a la preparación, los dientes adyacentes y antagonistas, podrían ser enviados directamente a un sistema CAD/CAM, sin tener que ser interpretados por un técnico o clínico.

El programa informático de CAD está ya relativamente maduro, y no va a experimentar cambios drásticos. Sin embargo, queda mucho por hacer hasta obtener una interfaz de usuario más sencilla y conseguir la integración de los arcos faciales digitales y escáneres para la transferencia de datos del paciente al articulador virtual.

Será el componente CAM el que se someta a los cambios más notables. Un reto importante que aún no ha sido abordado por los sistemas existentes es la búsqueda de una producción completamente automática y más económica de restauraciones de alta precisión. El mecanizado de alta velocidad está siendo adaptado, lo que permitirá la eliminación más rápida de material. Con esta reducción en el tiempo de mecanizado conllevaría seguramente una reducción de los costes de producción.

4. CONCLUSIONES

Este estudio ofrece una visión general de las técnicas y tecnologías de ingeniería que se aplican en el campo de la odontología. Se ha podido concluir que, en términos de aplicación de diferentes métodos y tecnologías, la aplicación de estas técnicas y tecnologías está ampliamente extendida.

Por otra parte, se puede concluir que el uso de algunas tecnologías novedosas

influyó positivamente y de forma significativa en la fabricación de prótesis dentales, tanto en términos de mejora de la eficacia de los procesos de modelado y la fabricación de restauraciones dentales, como en términos de calidad general de las restauraciones dentales, es decir, que revirtió en un beneficios para los pacientes. Se espera que en un futuro próximo esta tendencia tenga un mayor impacto en el desarrollo de técnicas de ingeniería y tecnologías de producción.

PARA SABER MÁS

- [1] Higuera A, Pando P, García MD et al. "Geometric data collection in medical imaging". DYNA Ingeniería e Industria. Vol.86-2 2011 p.222-231. (doi: <http://dx.doi.org/10.6036/3868>)
- [2] Ortop A, Jemt T, Back T et al. "Comparisons of precision of fit between cast and CNC-milled titanium implant frameworks for the edentulous mandible". International Journal of Prosthodontic. Vol.16-2 2003 p.194-200.
- [3] Germani M, Raffaelli R, Mazzoli A. "A method for performance evaluation of RE/RP systems in dentistry". Rapid Prototyping Journal. Vol.16 2010 p.345-355. (doi: <http://dx.doi.org/10.1108/13552541011065740>)
- [4] Hodolic J, Puskar T, Besic I. "Current status and future trends in dental CAM restorative systems". Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering. 2011. Nis.
- [5] Duret F, Preston JD, "CAD/CAM imaging in dentistry". Current Opinion in Dentistry. 1991 Vol.1 p.150-154.
- [6] Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. "Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations". British Dental Journal. Vol.204 2008 p.505-511. (doi: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.350>)
- [7] Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, et al. "Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator". Journal of Prosthetic Dentistry. Vol.109 2013 p.411-414. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60330-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60330-3))
- [8] Szentpétery A. "Computer Aided Dynamic Correction of Digitized Occlusal Surfaces". Journal of Gnathology. Vol.16 1997 p.53-60.
- [9] Kordass B, Gärtner C, Söhnel A, et al. "The virtual articulator in dentistry: concept and development" Dental Clinics of North America 2002 Vol.46-3 p.493-506.
- [10] Azari A, Nikzad S. "The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review". Rapid Prototyping Journal Vol.15 2009 p.216-225. (doi: <http://dx.doi.org/10.1108/13552540910961946>)
- [11] Lin AC. "Integration of 3D CAD, reverse engineering and rapid prototyping in fabrication of invisible tooth aligner". IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Vol.3 2005 p.2431-2436. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSMC.2005.1571513>)