

ODONTOLOGÍA DIGITAL: *QUO VADIS?*

CLINTON D STEVENS, ALEJANDRO LANIS.

Clinton D Stevens. DDS. Práctica privada, Tulsa, Oklahoma, EE. UU.

Alejandro Lanis. DDS, MS. Práctica privada, Santiago, Chile. Profesor visitante, Departamento de Prostodoncia, Facultad de Odontología de la Universidad de Indiana, Indianápolis, EE. UU.

Correspondencia a:

Clinton D Stevens
zahnmann@hotmail.com

RESUMEN

LA INCORPORACIÓN DE LA INGENIERÍA VIRTUAL y su aplicación en odontología está revolucionando nuestra profesión. En la actualidad, las tecnologías digitales se están aplicando a diversos procesos en todas las facetas de la odontología. La integración de información digital permite combinar los campos de la radiología, prótesis, cirugía y el laboratorio en un ecosistema virtual compartido, creando nuevos paradigmas y alternativas innovadoras para el tratamiento dental, ayudando así a optimizar los resultados para el paciente. En este artículo se revisará brevemente el desarrollo histórico de las tecnologías digitales en odontología, se analizará el alcance actual de las posibilidades de tratamiento de los pacientes por medios digitales y se dirigirá la mirada hacia lo que nos depara el futuro en nuestra nueva realidad digital.



Clinton D Stevens



Alejandro Lanis

INTRODUCCIÓN

TENIENDO EN CUENTA LA DIGITALIZACIÓN de nuestra vida diaria en el siglo XXI, no debería sorprender que la odontología también se esté digitalizando. De hecho, nuestra profesión ya es mucho más digital de lo que muchos clínicos piensan. Desde los humildes comienzos de una tecnología de nicho con aplicabilidad limitada, las secuencias de trabajo y aplicaciones digitales han aumentado de manera exponencial en la última década. Hasta ahora, las capacidades y los resultados digitales siempre se han medido en comparación con los equivalentes analógicos tradicionales como “patrón de oro”. Mientras que las primeras manifestaciones de la odontología digital tal vez no llegaron a estar a la altura de sus equivalentes analógicos, no puede decirse lo mismo de la realidad digital actual. Los flujos de trabajo digitales no solo contribuyen a optimizar el diagnóstico, la planificación del tratamiento y los resultados clínicos en odontología, también hacen que los flujos de trabajo y los parámetros analógicos se vuelvan obsoletos. En este artículo se examinará brevemente el desarrollo histórico de las tecnologías digitales en odontología, se analizará el alcance actual de las posibilidades de tratamiento de los pacientes por medios digitales y se dirigirá la mirada hacia lo que nos deparará el futuro en nuestra nueva realidad digital.

LAS RAÍCES DE LA ODONTOLOGÍA DIGITAL

LA CHISPA QUE ENCENDIÓ LA REVOLUCIÓN DIGITAL en odontología se remonta a Europa en los años setenta y principios de los ochenta. El deseo de aprovechar los avances en la informática y la robótica con vistas a limitar los errores de fabricación para las restauraciones indirectas impulsó al Dr. François Duret y su equipo a introducir la tecnología de diseño y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM) en el campo de la odontología en 1971 (Duret y cols. 1988). Otros europeos innovadores siguieron el ejemplo al patentar tecnologías CAD/CAM en 1979 y 1980 (Duret y cols. 1988). Una de esas patentes europeas, presentada por los doctores Mörmann y Brandestini, conduciría al desarrollo y lanzamiento al mercado del sistema CEREC. El objetivo inicial del desarrollo del sistema CEREC fue proporcionar una alternativa estética y duradera para la restauración de dientes que superara las deficiencias de las resinas compuestas a principios de los años ochenta, cuando carecían de resistencia al desgaste y a la degradación marginal (Mörmann 2006). Con estos sistemas se introdujeron dos componentes críticos para la odontología digital moderna: el registro de datos digitales por medio de un escáner intraoral (IOS, por sus siglas en inglés, *IntraOral Scanner*), y la manufacturación controlada por medios digitales.

Otra innovación impulsada en gran medida por Europa que sentó las bases de los actuales flujos de trabajo digitales es la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT, por sus siglas en inglés, *Cone Beam Computed Tomography*). Mozzo y cols. (1998) publicaron por primera vez acerca del uso exitoso de las imágenes de CBCT para aplicaciones dentales. Trabajando independientemente en Japón con tecnología de tomografía computarizada (CT) de origen finlandés, Arai y cols. (1999) publicaron resultados exitosos. No sería exagerado decir que el desarrollo de imágenes tridimensionales precisas, con menor exposición a la radiación y coste que las CT tradicionales, es tal vez el avance más importante para la evaluación diagnóstica y la planificación del tratamiento en odontología desde la aparición de las radiografías dentales en 1896.

Un último componente histórico de la revolución dental digital moderna es la adopción de flujos de trabajo digitales por parte de los laboratorios dentales. La primera implementación de aplicaciones CAD/CAM específicas para laboratorios también es de origen europeo, gracias al desarrollo del sistema Procera para la fabricación de cofias de corona de óxido de aluminio por parte del Dr. Matts Andersson en la década de 1980 (Miyazaki y cols. 2009). Hasta hace poco, la modalidad CAD/CAM ha sido el tipo de fabricación predominante para las aplicaciones dentales y ha sido objeto de una gran expansión en los últimos años.

En un esfuerzo por reducir el tiempo de fabricación, los costes asociados y los errores inducidos por el hombre, los laboratorios se han ido haciendo cada vez más dependientes de las tecnologías digitales. De hecho, las fresadoras y las impresoras 3D se utilizan ahora de forma rutinaria para la mayor parte de la producción diaria de los laboratorios. El cambio también se debe en gran parte a las elecciones de los materiales restauradores y sus indicaciones. Los clínicos están cada vez más a favor de las soluciones restauradoras monolíticas y los pilares individualizados específicos para cada paciente, haciendo inevitable esta relación de dependencia. Estos factores, combinados con la disminución del número de técnicos formados y el aumento de la demanda de sus servicios en muchos países, han hecho que los flujos de trabajo digitales predominen en el panorama actual de los laboratorios. Tanto es así, que también se está produciendo un cambio en los modelos de negocio, siendo el laboratorio tradicional reemplazado o complementado por centros de fresado y centros de diseño digital.

LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS FLUJOS DE TRABAJO Y LOS RESULTADOS DIGITALES

PARA SATISFACER CON ÉXITO LAS NECESIDADES de los pacientes, los clínicos deben recoger datos, realizar un diagnóstico, crear un plan de tratamiento y ejecutarlo. Hasta hace poco, todas estas facetas de la atención al paciente se han ejecutado utilizando enfoques analógicos tradicionales. Incluso hoy en día, la mayoría de los estudiantes de odontología siguen aprendiendo la práctica de su profesión utilizando estas soluciones “convencionales”. Es cierto que muchos de los principios que subyacen a estas soluciones se basan en procesos biológicos y fisiológicos que no cambiarán con el tiempo. Sin embargo, la forma en que estamos gestionando estos procesos mediante el diagnóstico, la planificación del tratamiento y su ejecución está cambiando drásticamente a medida que integramos soluciones innovadoras de *software* y *hardware* digital. No sería una exageración afirmar que la mayoría, si no todas las soluciones analógicas actuales, se están volviendo obsoletas por efecto de sus alternativas digitales.

Tal vez no haya un componente más crítico para la atención de los pacientes que la recogida de datos de calidad. El diagnóstico, el plan de tratamiento y el resultado final para un paciente solo pueden ser igual de buenos que la información recopilada y la forma de integrarla, con el fin de ofrecer un tratamiento personalizado. Aunque las radiografías digitales bidimensionales obtenidas con sensores intraorales supusieron una mejora con respecto a sus equivalentes analógicos en términos de almacenamiento de datos y exposición a la radiación, en realidad fueron simplemente una solución de sustitución de “manzanas por manzanas”. Sin embargo, la introducción de los equipos de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) supuso un avance enorme en el diagnóstico y la planificación. La implementación y el uso de las tecnologías de CBCT siguen creciendo, ya que las mejoras en el *hardware* y el *software* durante la última década han aumentado mucho su valor de utilidad. Con una sola máquina, los profesionales han mejorado sus capacidades de diagnóstico y planificación del tratamiento en los campos de la endodoncia (Patel y cols. 2019), implantología dental (Ríos y cols. 2017), cirugía oral y maxilofacial (Assouline, Meyer, Weber y cols. 2020), ATM (Larheim y cols. 2015) y ortodoncia (Kapila y Nervina 2015). Aunque en el mercado existe bastante heterogeneidad en relación con las capacidades de los diferentes dispositivos, algunos equipos de CBCT pueden incluso generar radiografías de aleta de mordida extraorales de calidad diagnóstica (Chan y cols. 2018) y escaneados faciales tridimensionales. El hecho de que estos datos puedan ser integrados con archivos de escaneado intraoral digitales aporta una utilidad aún mayor, permitiendo la aplicación directa de las decisiones de diagnóstico y planificación del tratamiento a las terapias de los pacientes. Otra razón para su creciente utilización en los últimos años es la reducción de las dos barreras probablemente más importantes para el uso de la CBCT en el pasado: su coste y la exposición a la radiación. En la actualidad, hay múltiples fabricantes de tecnología de CBCT que ofrecen equipos por menos de 70 000 dólares americanos, un precio inaudito hace diez años. Aunque se observa nuevamente una heterogeneidad entre los diferentes equipos de CBCT, algunos fabricantes también han reducido en gran medida la exposición a la radiación de los pacientes, y varios de ellos han documentado una exposición en microsieverts para determinados campos de visión similar a la de una radiografía panorámica digital (Ludlow, Timothy, Walker y cols. 2015).

Las impresiones han sido durante mucho tiempo la otra fuente crítica de “entrada de datos” para los dentistas y los laboratorios dentales. Las impresiones de calidad (y los modelos de escayola obtenidos a partir de ellas) son necesarias no solo con fines diagnósticos, sino también para la transferencia de los planes de tratamiento a la realidad y para la fabricación de soluciones protésicas para los pacientes. Los sistemas de IOS se han utilizado clínicamente desde los años ochenta con la introducción del sistema CEREC. Durante los primeros veinte años se introdujeron grandes mejoras en las tecnologías y el *software* de los escáneres, produciendo resultados de ajuste en restauraciones unitarias (Chochlidakis y cols. 2016; Tsirogiannis y cols. 2016; Ahlholm y cols. 2018), prótesis parciales fijas de múltiples unidades sobre dientes naturales e implantes (Su y Sun 2016; Lo Russo y cols. 2019), y restauraciones de arcada completa implanto-soportadas (Wulfman y cols. 2020) generadas mediante la adquisición de datos digitales que alcanzan niveles equivalentes o superiores a las fabricadas con métodos analógicos. El IOS seguía estando a la zaga del polivinilsiloxano (PVS) en términos de precisión para determinadas aplicaciones clínicas (Ender y cols. 2016). Sin embargo, en los últimos cinco años, estas discrepancias se han eliminado en el caso de las impresiones de pacientes dentados y se han minimizado en gran medida en los casos edéntulos gracias a la última generación de equipos de IOS (Mennito, Evans, Nash y cols. 2019). Al igual que con los dispositivos de CBCT, hay heterogeneidad entre los IOS de diferentes fabricantes. En cualquier caso, la utilización de impresiones digitales permite al profesional el acceso directo a los flujos de trabajo y resultados digitales (Lanis y cols. 2017) y ofrece importantes ventajas con respecto a las impresiones físicas, sobre todo porque su utilización no tiene una ventana de tiempo limitada, no requieren espacio de almacenamiento físico y se integran perfectamente en los actuales flujos de trabajo digitales de los laboratorios (Stevens 2020). Esta integración en los flujos de trabajo de laboratorio es ventajosa en términos de coste y tiempo tanto para el clínico como para el laboratorio, mejorando al mismo tiempo la experiencia del paciente (Lanis y Álvarez del Canto 2015).

Habitualmente los datos son recogidos en la clínica dental con el propósito expreso de facilitar una solución restauradora o rehabilitadora para un paciente. Es especialmente en este campo donde los profesionales pueden no ser conscientes de que las soluciones actuales o solo son fabricadas digitalmente u ofrecen la posibilidad de una fabricación digital que cumple o supera los resultados analógicos. Tomemos como ejemplo la corona unitaria, con toda seguridad la restauración indirecta fabricada con mayor frecuencia. Actualmente, el único flujo de trabajo disponible para las coronas monolíticas de óxido de zirconio es digital, por lo que es necesario digitalizar los modelos antes de poder diseñar y fresar la corona. En el futuro, aunque estas coronas se impriman en 3D, el flujo de trabajo seguirá siendo digital. Pero el óxido de zirconio monolítico no es el único material que puede ser fabricado usando flujos de trabajo digitales. Las restauraciones de cerámica vítrea pueden ser fresadas con resultados comparables a las restauraciones inyectadas o estratificadas, y algunas fresadoras pueden incluso producir una restauración más precisa que la técnica de inyección convencional (Alfaro y cols. 2015; Anadioti, Aquilino, Gratton y cols. 2015; Elrashid y cols. 2019). Incluso cuando los laboratorios siguen optando por fabricar una restauración de cerámica vítrea con técnica de inyección, a menudo lo hacen a partir de un patrón de encerado de resina calcinable fabricado mediante impresión 3D o fresado. Esto les permite aprovechar la conveniencia de los flujos de trabajo digitales, una recuperación más rápida ante un error en el proceso de inyección y el ahorro económico que supone inyectar varias restauraciones a partir de un solo lingote, en lugar de fresar una restauración por bloque (Guachetá y cols. 2020). Por otra parte, con las tecnologías de fresado actuales, se pueden hacer restauraciones de oro con un ajuste similar o superior al de las restauraciones coladas tradicionales (Johnson y cols. 2017), eliminando al mismo tiempo muchos de los pasos de fabricación y acabado necesarios.

Las restauraciones unitarias dento-soportadas son solo una de las muchas soluciones restauradoras que son fabricadas digitalmente hoy en día. Las prótesis parciales removibles se están beneficiando de la implementación de subestructuras fabricadas digitalmente (Campbell, Cooper, Craddock y cols. 2017). En el caso de las prótesis completas, el fresado (Lo Russo y Salamini 2018) y la impresión en 3D (Christache, Totu, Iorgulescu y cols. 2020) se están convirtiendo rápidamente en el camino del futuro, ya que eliminan muchos de los pasos analógicos susceptibles de generar errores en la fabricación tradicional de estas prótesis. Las soluciones implantológicas individualizadas, desde coronas unitarias hasta rehabilitaciones completas, son fabricadas en la mayoría de los casos mediante tecnología CAD/CAM en 2020. Estas soluciones ofrecen un ajuste mejor que sus equivalentes analógicos (Abduo 2014; Abduo y Yin 2019) y son más rápidas de fabricar y menos propensas a los errores que los métodos de fabricación tradicionales.

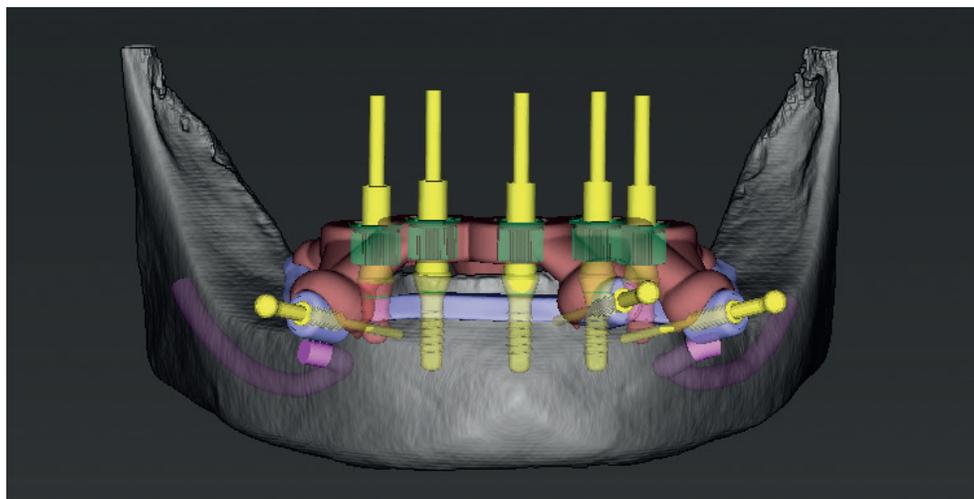


Figura 1. Diseño digital de guía de reducción ósea y una férula para colocación de implantes totalmente guiada, para un caso de rehabilitación oral mediante una prótesis híbrida total implanto-asistida.



Figura 2. Guías impresas en 3D de la Figura 1.



Figura 3. Diseño de sonrisa digital combinando una fotografía 2D y una planificación virtual 3D.

En lo que respecta a los flujos de trabajo implantológicos, la manufacturación de la solución restauradora está lejos de ser el único paso impulsado por la tecnología. Mediante la integración de los datos de CBCT e IOS a través de programas informáticos, los casos de implantes pueden ahora ser planificados con gran precisión de manera virtual antes de la cirugía (Figura 1). Esta planificación puede ser transferida a continuación directamente al paciente por medio de férulas quirúrgicas impresas en 3D (Figura 2) o fresadas, o mediante sistemas de navegación quirúrgica dinámica. Aunque los tratamientos implantológicos todavía tienen cierto margen de error (Tahmaseb y cols. 2018), ya se acercan mucho más al ideal que la colocación de implantes no guiada (Arisan y cols. 2013; Chen y cols. 2018; Tattan y cols. 2020). La posibilidad de integrar la planificación de la colocación de los implantes con los programas informáticos de CAD permite fabricar antes del tratamiento soluciones específicas para el paciente basadas en la planificación quirúrgica (Figuras 3, 4 y 5), lo que facilita la colocación de cualquier elemento, desde un pilar de cicatrización individualizado, una prótesis provisional o una restauración provisional de arcada completa, de una manera mucho más precisa y eficiente en términos de tiempo que la fabricación y conversión de prótesis por medios tradicionales en la clínica en el momento de la cirugía.

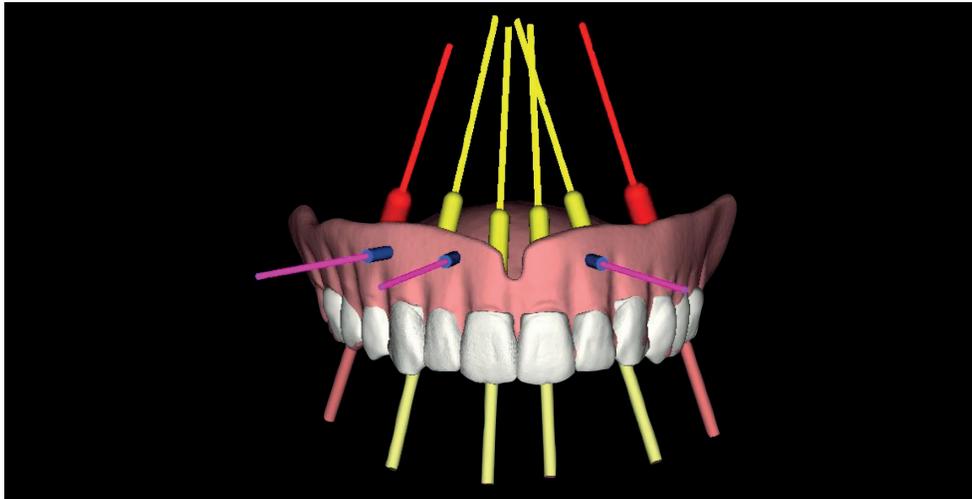


Figura 4.
Montaje de dientes virtual diseñado por CAD para la Figura 3.

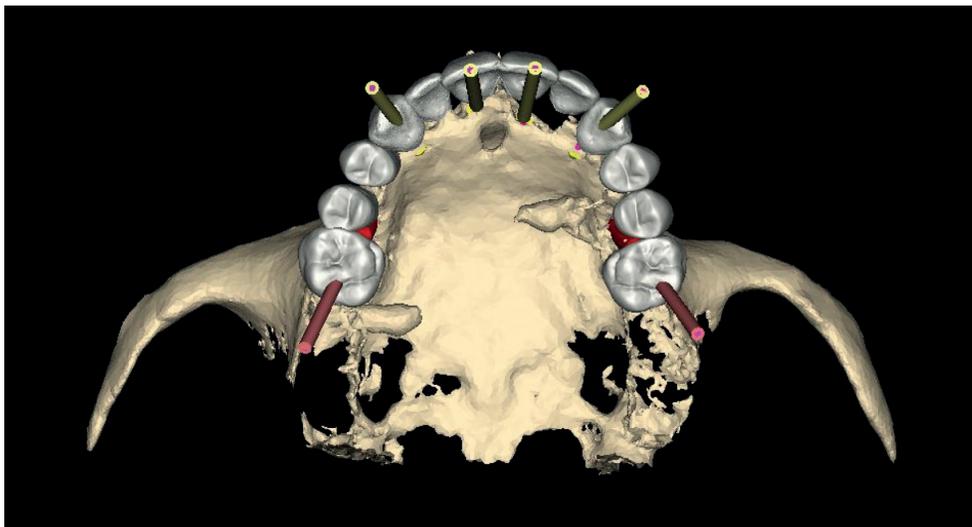


Figura 5.
Vista oclusal de la colocación de implantes para la Figura 3.

Otra especialidad que se beneficia significativamente de la revolución dental digital es la ortodoncia (Jheon y cols. 2017). La visualización tridimensional de la ATM, el posicionamiento de los dientes en relación con el alveolo y la posibilidad de realizar mediciones cefalométricas tridimensionales han hecho indispensable la tecnología de CBCT. Los avances en materia de programas informáticos han permitido mejorar la capacidad de planificación del tratamiento, permitiendo a los clínicos, no solo visualizar su plan de tratamiento de principio a fin, sino también ver dónde llevan los movimientos a los dientes en relación con su soporte óseo, transferir ese plan de tratamiento a alineadores transparentes o arcos preformados específicos para cada paciente, y compartir visualmente con el paciente el resultado previsto. A medida que se digitalizan los modelos de diagnóstico y las modalidades de tratamiento, el “laboratorio de ortodoncia” también se está digitalizando, y los modelos impresos en 3D sustituyen a la escayola en los casos que requieren un modelo físico. Con respecto al uso del IOS y los modelos digitales para el diagnóstico y la planificación del tratamiento, los ortodoncistas ya los consideran el nuevo patrón de oro en la práctica, dada su precisión y facilidad de almacenamiento (Rossini y cols. 2016).

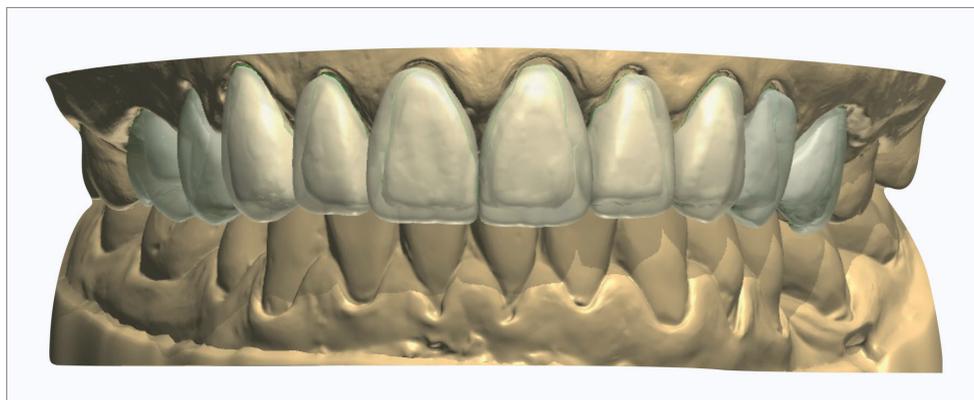


Figura 6.
Diseño CAD para carillas monolíticas de e.max de premolar a premolar.



Figura 7.
Articulación virtual de las restauraciones para visualizar la función.



Figura 8.
Una semana después de la intervención, carillas monolíticas de e.max de premolar a premolar.

Los flujos de trabajo digitales para el diseño de sonrisa estético no solo benefician a los pacientes ortodóncicos, sino también a los casos restauradores. La posibilidad de que el paciente y el profesional puedan “previsualizar” una nueva sonrisa antes de iniciar el tratamiento mejora enormemente la comunicación. Ya se han elaborado varios protocolos diferentes para el diseño de sonrisa en 2D/3D, todos ellos con objetivos similares (Zimmermann y Mehl 2015; Coachman y cols. 2017; Brenes y cols. 2018; Silva y cols. 2019). Aunque el flujo de trabajo varía según el protocolo utilizado, el resultado final deseado del diseño digital de la sonrisa es obtener una fotografía alterada para comunicar al paciente y al técnico de laboratorio el posible resultado del tratamiento, así como un *mock-up* diseñado en CAD, que puede imprimirse en 3D para crear un *mock-up* físico para permitirle al paciente y al clínico una previsualización en la boca del paciente antes del tratamiento. Este *mock-up* físico puede ser fabricado a partir de una matriz provisional obtenida a partir de un modelo impreso en 3D, o imprimiendo la forma externa del *mock-up*. Si el paciente y el clínico dan el visto bueno a la prueba, el *mock-up* puede ser utilizado como guía para la preparación dentaria. Además, el diseño generado por CAD puede ser copiado directamente al diseño de las restauraciones finales (Figura 6). En el caso de requerir modificaciones, se puede volver a escanear la arcada del paciente una vez realizados los cambios deseados, y de nuevo este diseño puede ser copiado directamente al resultado final del paciente. Como toda esta información es recopilada y gestionada en una plataforma digital, también es posible verificar la funcionalidad de las futuras restauraciones finales con un articulador virtual (Figura 7). Gracias a estas técnicas, nunca ha sido tan predecible comunicar y satisfacer las demandas y los deseos funcionales y estéticos de un paciente (Figura 8).

Las tecnologías y secuencias de trabajo digitales actuales no son perfectas ni están exentas de necesitar un mayor desarrollo. Aunque los informes de casos clínicos indican que se están haciendo progresos hacia un flujo de trabajo totalmente digital para las prótesis removibles (Goodacre y Goodacre 2018; Unokovskiy y cols. 2019), la captación precisa de las zonas marginales y los movimientos funcionales en las prótesis completas sigue siendo problemática para los escáneres digitales, especialmente para la arcada inferior, así como la toma de los registros oclusales. Históricamente, el escaneado preciso de múltiples implantes en casos con tramos edéntulos más largos y/o implantes angulados también ha sido un problema para los escáneres digitales. Varios estudios comparativos recientes con impresiones convencionales para casos parcial y totalmente desdentados muestran que, aunque existe heterogeneidad entre los escáneres y el tipo de pilar de escaneado utilizado, los escáneres digitales han superado en gran medida estos problemas (Amin y cols. 2017; Marghalani y cols. 2018; Albayrak y cols. 2020). Irónicamente, nosotros, los clínicos, somos quizás el mayor obstáculo de todos para el desarrollo, la aplicación y la mejora de las tecnologías digitales. Los profesionales a menudo no se dan cuenta o toman en consideración que “digitalizarse” no cambia en modo alguno los fundamentos básicos de los procedimientos restauradores y quirúrgicos que dictaminan el éxito clínico. La recogida de datos digitales y la fabricación de soluciones restauradoras son exactamente eso, medios para recopilar datos y producir cosas. No eliminan en modo alguno la necesidad de tener un conocimiento profundo de los procedimientos que se realizan, ni de ejecutar las técnicas restauradoras y quirúrgicas adecuadas, que son necesarias independientemente de que los flujos de trabajo utilizados sean analógicos o digitales.

Como ya se ha mencionado varias veces en este artículo, existe una gran heterogeneidad entre las tecnologías digitales, no solo en los IOS y CBCT, sino también en el *software*, las fresadoras y las impresoras 3D. Algunos sistemas ofrecen una mayor precisión, más funcionalidad y/o más valor por dólar gastado que otros. Algunos ecosistemas digitales, también conocidos como sistemas de arquitectura abierta, permiten transferir y usar datos de otras plataformas, mientras que otros, conocidos como sistemas de arquitectura cerrada, funcionan solo con lo que se genera dentro de una marca particular. Aunque la mayoría de los fabricantes comprenden hoy en día el valor que la mayoría de los clínicos ven en los sistemas de arquitectura abierta y se están adaptando a los deseos del mercado, todavía hay muchos casos en los que los flujos de trabajo digitales de ciertos fabricantes están cerrados o limitados de una forma u otra. Todas estas variables dan lugar a un proceso de toma de decisiones difícil para los clínicos, especialmente teniendo en cuenta que muchos profesionales no han recibido entrenamiento en la aplicación de las tecnologías digitales como parte de su educación formal. El aumento constante de opciones dificulta la correcta toma de decisiones por parte de los clínicos tanto noveles como experimentados sobre las tecnologías y los ecosistemas digitales que mejor se adaptan a sus necesidades particulares (Stevens 2020).

TENDENCIAS Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES: EL FIN DE LA ERA ANALÓGICA

¿A DÓNDE IRÁ LA PROFESIÓN A PARTIR DE AQUÍ? Aunque sería imposible predecir con exactitud cada desarrollo en los próximos 10-20 años, una cosa es segura: las tecnologías y flujos de trabajo digitales suplantarán absolutamente los flujos de trabajo analógicos tradicionales que nosotros, como dentistas, hemos entrenado y practicado durante el último siglo. Como ya se ha señalado, la “odontología digital” ya está proporcionando a la profesión un nivel de predecibilidad y capacidades imposible de alcanzar con los flujos de trabajo analógicos, gracias a la mejora de los diagnósticos y la creación de estrategias que simplemente no son factibles sin las tecnologías digitales. Esto no significa que los profesionales no hayan tenido mucho éxito con los estándares tradicionales “de referencia” existentes para los flujos de trabajo y los resultados, ni que los flujos de trabajo y resultados digitales sean perfectos y no necesiten mejoras. Pero dado el alcance actual de las posibilidades y la base de evidencia existente que respalda su uso, es innegable que la odontología digital debería ser el nuevo estándar de tratamiento para los pacientes dentales.

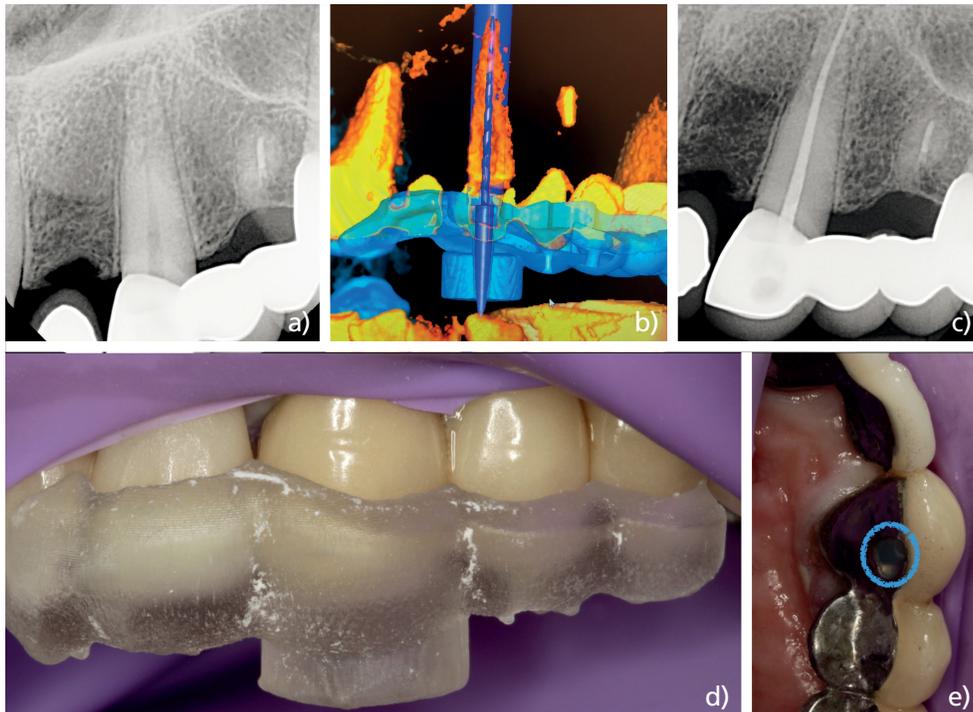


Figura 9. a) Radiografía preoperatoria de un canino necrótico que actúa como pilar dentario, parte de una restauración fija de boca completa; b) Planificación digital del acceso en línea recta para el tratamiento endodóntico; c) Radiografía final tras la finalización del tratamiento endodóntico; d) Guía impresa en 3D para el acceso endodóntico, colocada; e) Ubicación del punto de entrada para obtener acceso en línea recta, rodeada por el círculo azul; obsérvese la discrepancia con el punto de acceso normal a un canino.

Cuando la odontología digital surgió por primera vez, en forma de técnica CAD/CAM de aplicación en clínica, uno de los mayores cambios de paradigma fue la condensación de un proceso de varias semanas en un solo día. La “corona del mismo día” tenía ventajas obvias tanto para el paciente como para el profesional. Los pacientes recibían el tratamiento en un plazo de tiempo drásticamente reducido, con menos oportunidades de sufrir complicaciones o una experiencia negativa, mientras que los clínicos se beneficiaban de la misma minimización de complicaciones, mejorando al mismo tiempo la eficiencia de la clínica y aumentando el futuro tiempo productivo disponible. Este mismo tipo de consolidación del flujo de trabajo y de mejora de la eficiencia es ya una posibilidad para otros tipos de tratamiento controlados por vía digital. Gracias a un acceso más frecuente a los CBCT, las mejoras en el *software* y la velocidad cada vez mayor de las impresoras 3D, es totalmente factible diagnosticar, planificar y ejecutar el tratamiento con implantes dentales en una sola visita, tanto optando por enfoques dinámicos como estáticos. Aunque todavía necesitamos más programas informáticos para aplicaciones específicas en el campo de la endodoncia, se podría utilizar el mismo flujo de trabajo (y el mismo *software*) para abordar de manera guiada un diente que necesite un tratamiento endodóntico (Figura 9). Los casos interdisciplinarios, como el manejo de las agenesias de incisivos laterales en la fase posortodóncica de un paciente en crecimiento, pueden manejarse con una prótesis parcial fija provisional adherida con resina, fabricada antes de retirar los *brackets* del paciente (Figura 10). Un *mock-up* de diseño de sonrisa digital, una vez aprobado por el paciente, puede imprimirse en 3D y ser probado el mismo día, sin necesidad de volver para una visita posterior. Pronto, el *software* de planificación ortodóncica será lo suficientemente robusto y rápido como para planificar el tratamiento ortodóncico e iniciar el tratamiento de un paciente el mismo día, en lugar de necesitar múltiples citas para empezar. A medida que se van desarrollando más materiales, también se podrán utilizar impresoras 3D para fabricar soluciones restauradoras definitivas para los pacientes. En resumen, la utilización del tiempo, que es probablemente el activo más valioso tanto para los clínicos como para los pacientes, se está optimizando a través de las tecnologías digitales, lo que permite que nuestros negocios sean más rentables y, al mismo tiempo, reducir potencialmente el coste para los pacientes.



Figura 10.

a) Modelos digitales de un paciente tras terminar un tratamiento ortodóncico, antes de la retirada de los brackets; b) Diseño digital de una prótesis parcial fija en cantiléver para reemplazar un incisivo lateral ausente por agenesia; c) Posoperatorio inmediato después de la colocación de prótesis parciales fijas adheridas con resina para reemplazar los incisivos laterales superiores ausentes por agenesia y el canino inferior izquierdo. Las restauraciones se cementaron inmediatamente después de la retirada de los brackets.

Las tecnologías emergentes acabarán conectando las pocas áreas que aún están con un pie en el ámbito 2D y otro en el mundo 3D. La tecnología de escaneo facial, combinada con los formatos digitales existentes, hará posible una verdadera planificación del tratamiento en 3D, ya sea para rehabilitaciones bucales completas o para mejoras electivas de la sonrisa (Mangano y cols. 2018). Los avances en los registros del movimiento mandibular en 4D basado en CBCT (Aslanidou y cols. 2017; Kwon y cols. 2019) personalizarán verdaderamente la evaluación y el tratamiento de los desórdenes temporomandibulares (TMD), y asegurarán que los tratamientos ortodóncicos y restauradores sean específicos para cada paciente en lo que respecta a la salud y la función articular. Las tecnologías no ionizantes, como la tomografía de coherencia óptica (OCT, por sus siglas en inglés, *Optical Coherence Tomography*) y la resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés, *Magnetic Resonance Imaging*), tienen el potencial de proporcionar vistas tridimensionales de los dientes y el periodonto que mejorarían enormemente la evaluación y monitorización de la salud oral (Elashiry y cols. 2018), y los sistemas de IOS muestran algunas de las mismas posibilidades (Couso-Queiruga y cols. 2020). No es descabellado pensar que, dado el ritmo actual de desarrollo del espacio digital, muchas de estas tecnologías emergentes podrían llegar a ser la opción “generalizada” a lo largo de la vida de nuestras clínicas. El paciente virtual y el enfoque totalmente digitalizado del tratamiento del paciente está a la vuelta de la esquina.

La odontología ya ES digital, y continuará digitalizándose por completo en los próximos 10-20 años. Cambiará la forma de cuidar a nuestros pacientes, cómo funcionan nuestras consultas, cómo nos comunicamos con nuestros colegas y laboratorios, y cómo monitorizamos la salud oral de nuestros pacientes a lo largo del tiempo. Es crítico recordar, sin embargo, que el arsenal digital es solo eso: una colección de herramientas y flujos de trabajo para diagnosticar, planificar el tratamiento y crear soluciones. No es, y nunca será, un sustituto de clínicos y técnicos bien entrenados con pensamiento crítico. La odontología digital proporcionará las mejores posibilidades de resultados para los pacientes en la historia de nuestra profesión, pero esos resultados solo se lograrán con la participación de clínicos perceptivos y sus equipos.

RELEVANCIA CLÍNICA

LOS AVANCES MÁS RECIENTES de la odontología en los últimos diez años hacen que la cuestión no sea preguntarse si los profesionales adoptarán las secuencias de trabajo y las tecnologías digitales sino cuándo lo harán. Comprender el estado actual de sus capacidades y limitaciones, así como las probables oportunidades de crecimiento y desarrollo futuro, es fundamental para ayudar a los clínicos a decidir qué tecnologías y flujos de trabajo digitales son y serán necesarios para su práctica.

IMPLICACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN

HASTA AHORA, la mayor parte de los estudios de investigación relativos a las tecnologías y los resultados digitales se han centrado en su comparación con las tecnologías y los resultados analógicos convencionales. Esta tendencia pronto será sustituida por estudios sobre odontología digital en todas las facetas de la profesión que sustituirán y redefinirán los antiguos enfoques analógicos. Todavía queda mucho por hacer para definir y perfeccionar de la mejor manera posible un conjunto coherente y completo de flujos de trabajo, herramientas y buenas prácticas para el espacio de trabajo digital.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abduo J. (2014) Fit of CAD/CAM implant frameworks: A comprehensive review. *The Journal of Oral Implantology* **40**, 758-766.
- Abduo J, Yin L. (2019) Fits of Implant Zirconia Custom Abutments and Frameworks: A Systematic Review and Meta-Analyses. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* **34**, 99-114.
- Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. (2018) Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *Journal of Prosthodontics* **27**, 35-41.
- Albayrak B, Sukotjo C, Wee AG, Korkmaz İH, Bayındır F. (2020) Three-dimensional accuracy of conventional versus digital complete arch implant impressions. *Journal of Prosthodontics* (en prensa).
- Alfaro DP, Ruse ND, Carvalho RM, Wyatt CC. (2015). Assessment of the internal fit of lithium disilicate crowns using micro-CT. *Journal of Prosthodontics* **24**, 381-386.
- Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. (2017) Digital vs. conventional full-arch implant impressions: A comparative study. *Clinical Oral Implants Research* **28**, 1360-1367.
- Anadioti E, Aquilino SA, Gratton DG, Holloway JA, Denry IL, Thomas GW, Qian F. (2015) Internal fit of pressed and computer-aided design/computer-aided manufacturing ceramic crowns made from digital and conventional impressions. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **113**, 304-309.
- Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. (1999) Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofacial Radiology* **28**, 245-248.
- Arisan V, Karabuda CZ, Mumcu E, Özdemir T. (2013) Implant positioning errors in freehand and computer-aided placement methods: a single-blind clinical comparative study. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* **28**, 190-204.
- Aslanidou K, Kau CH, Vlachos C, Saleh, TA. (2017) The fabrication of a customized occlusal splint based on the merging of dynamic jaw tracking records, cone beam computed tomography, and CAD-CAM digital impression. *Journal of Orthodontic Science* **6**, 104-109.
- Assouline SL, Meyer C, Weber E, Chatelain B, Barrabe A, Sigaux N, Louvrier A. (2020) How useful is intraoperative cone beam computed tomography in maxillofacial surgery? An overview of the current literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **20** (en prensa).
- Brenes C, Jurgutis L, Babb CS. (2018) Digital face-bow transfer technique using the dentofacial analyzer for dental esthetics and 2-D, 3-D smile design: A clinical report. *Journal of oral Science and Rehabilitation* **4**, 22-30.
- Campbell SD, Cooper L, Craddock H, Hyde TP, Nattress B, Pavitt SH, Seymour DW. (2017) Removable partial dentures: The clinical need for innovation. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **118**, 273-280.
- Chan M, Dadul T, Langlais R, Russell D, Ahmad M. (2018) Accuracy of extraoral bite-wing radiography in detecting proximal caries and crestal bone loss. *Journal of the American Dental Association* **149**, 51-58.
- Chen CK, Yuh DY, Huang RY, Fu E, Tsai CF, Chiang CY. (2018) Accuracy of Implant Placement with a Navigation System, a Laboratory Guide, and Freehand Drilling. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* **33**, 1213-1218.
- Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng JJ, Ercoli C. (2016) Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **116**, 184-190.
- Coachman C, Calamita MA, Sesma N. (2017) Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* **37**, 183-193.
- Couso-Queiruga E, Tattan M, Ahmad U, Barwacz C, González-Martín O, Ávila-Ortiz, G. (2020) Assessment of gingival thickness using digital file superimposition versus direct clinical measurements. *Clinical Oral Investigations* (en prensa).
- Cristache CM, Totu EE, Iorgulescu G, Pantazi A, Dorobantu D, Nechifor AC, Isildak I, Burlibasa M, Nechifor G, Enachescu M. (2020) Eighteen months follow-up with patient-centered outcomes assessment of complete dentures manufactured using a hybrid nanocomposite and additive CAD/CAM Protocol. *Journal of Clinical Medicine* **9**, 324.

- Duret F, Bouin JL, Duret B. (1988) CAD-CAM in dentistry. *Journal of the American Dental Association* **117**, 715-720.
- Elashiry M, Meghil MM, Arce RM, Cutler CW. (2019) From manual periodontal probing to digital 3-D imaging to endoscopic capillaroscopy: Recent advances in periodontal disease diagnosis. *Journal of Periodontal Research* **54**, 1-9.
- Elrashid AH, AlKahtani AH, Alqahtani SJ, Alajmi NB, Alsultan FH. (2019) Stereomicroscopic evaluation of marginal fit of E.max press and E.max computer-aided design and computer-assisted manufacturing lithium disilicate ceramic crowns: An in vitro study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry* **9**, 178-184.
- Ender A, Attin T, Mehl A. (2016) In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **115**, 313-320.
- Goodacre BJ, Goodacre CJ. (2018) Using intraoral scanning to fabricate complete dentures: First experiences. *The International Journal of Prosthodontics* **31**, 166-170.
- Guachetá L, Stevens CD, Tamayo Cardona JA, Murgueitio R. (2020) Comparison of Marginal and Internal Fit of Pressed Lithium Disilicate Veneers Fabricated Via A Manual Waxing Technique Versus a 3D Printed Technique. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* (en prensa).
- Jheon AH, Oberoi S, Solem RC, Kapila S. (2017) Moving towards precision orthodontics: An evolving paradigm shift in the planning and delivery of customized orthodontic therapy. *Orthodontics and Craniofacial Research* **20 Supl 1**, 106-113.
- Johnson R, Verrett R, Haney S, Mansueto M, Challa S. (2017) Marginal gap of milled versus cast gold restorations. *Journal of Prosthodontics* **26**, 56-63.
- Kapila SD, Nervina JM. (2015) CBCT in orthodontics: Assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiology* **44**, 20140282.
- Kwon JH, Im S, Chang M, Kim JE, Shim JS. (2019) A digital approach to dynamic jaw tracking using a target tracking system and a structured-light three-dimensional scanner. *Journal of Prosthodontic Research* **63**, 115-119.
- Larheim TA, Abrahamsson AK, Kristensen M, Arvidsson LZ. (2015) Temporomandibular joint diagnostics using CBCT. *Dento-maxillo-facial- Radiology* **44**, 20140235.
- Lanis A, Álvarez del Canto O. (2015) The combination of digital surface scanners and cone beam computed tomography technology for guided implant surgery using 3Shape Implant Studio Software: A case history report. *International Journal of Prosthodontics* **28**, 169-178.
- Lanis A, Llorens P, Álvarez del Canto O. (2017) Selecting the appropriate digital-planning pathway for computer guided implant surgery. *International Journal of Computerized Dentistry* **20**, 75-85.
- Lo Russo L, Salamini A. (2018) Removable complete digital dentures: A workflow that integrates open technologies. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **119**, 727-732.
- Lo Russo L, Caradonna G, Biancardino M, De Lillo A, Troiano G, Guida L. (2019) Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **122**, 435-440.
- Ludlow JB, Timothy R, Walker C, Hunter R, Benavides E, Samuelson DB, Scheske MJ. (2015) Effective dose of dental CBCT-a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dento-maxillo-facial Radiology* **44**, 20140197.
- Mangano C, Luongo F, Migliario M, Mortellaro C, Mangano FG. (2018) Combining intraoral scans, cone beam computed tomography and face scans: The virtual patient. *The Journal of Craniofacial Surgery* **29**, 2241-2246.
- Marghalani A, Weber HP, Finkelman M, Kudara Y, El Rafie K, Papaspyridakos P. (2018) Digital versus conventional implant impressions for partially edentulous arches: An evaluation of accuracy. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **119**, 574-579.
- Mennito AS, Evans ZP, Nash J, Bocklet C, Lauer Kelly A, Bacro T, Cayouette M, Ludlow M, Renne WG. (2019) Evaluation of the trueness and precision of complete arch digital impressions on a human maxilla using seven different intraoral digital impression systems and a laboratory scanner. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **31**, 369-377.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. (2009) A review of dental CAD/CAM: Current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental Materials Journal* **28**, 44-56.
- Mörmann WH. (2006) The evolution of the CEREC system. *Journal of the American Dental Association* **137 Suppl**, S7-S13.
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. (1998) A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology* **8**, 1558-1564.
- Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella, F, Durack C. (2019) Cone beam computed tomography in Endodontics: A review of the literature. *International Endodontic Journal* **52**, 1138-1152.
- Rios HF, Borgnakke WS, Benavides E. (2017) The Use of Cone-Beam Computed Tomography in Management of Patients Requiring Dental Implants: An American Academy of Periodontology Best Evidence Review. *Journal of periodontology* **88**, 946-959.
- Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. (2016) Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **149**, 161-170.
- Silva BP, Mahn E, Stanley K, Coachman C. (2019) The facial flow concept: an organic orofacial analysis-the vertical component. *The Journal of prosthetic dentistry* **121**, 189-194.
- Stevens CD. (2020) Impression-Making in 2020: How Long Before Analog Methods Are Obsolete?. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* **3**, 178-179.
- Su TS, Sun J. (2016) Comparison of marginal and internal fit of 3-unit ceramic fixed dental prostheses made with either a conventional or digital impression. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **116**, 362-367.
- Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. (2018) The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research* **29 Supl 16**, 416-435.
- Tsirogiannis P, Reissmann DR, Heydecke G. (2016) Evaluation of the marginal fit of single-unit, complete-coverage ceramic restorations fabricated after digital and conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **116**, 328-335.
- Wulfman C, Naveau A, Rignon-Bret C. (2020) Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **124**, 161-167.
- Zimmermann M, Mehl A. (2015) Virtual smile design systems: a current review. *International Journal of Computerized Dentistry* **18**, 303-317.