

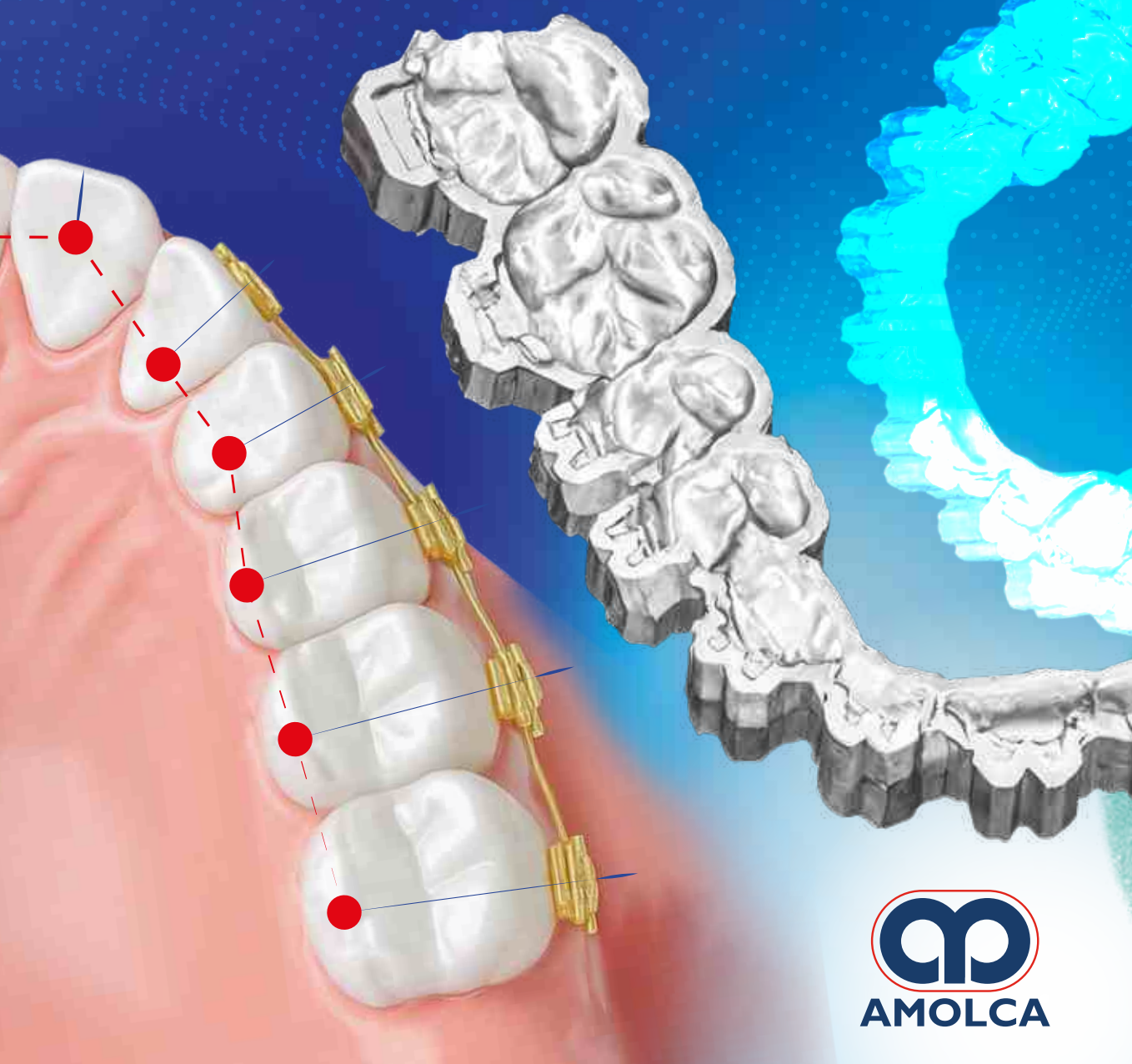
STEFAN ABELA

BIBLIOTECA
DIGITAL

INCLUYE E-BOOK

ORTODONCIA DIGITAL

SOLUCIONES TERAPÉUTICAS INNOVADORAS



ORTODONCIA DIGITAL

SOLUCIONES TERAPÉUTICAS INNOVADORAS



ORTODONCIA DIGITAL

SOLUCIONES TERAPÉUTICAS INNOVADORAS

STEFAN ABELA



2026


AMOLCA

Editor en jefe: Félix E. Suárez

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o transmitirse por ningún medio electrónico, mecánico, incluyendo fotocopiado o grabado mediante cualquier sistema de almacenamiento de información sin el permiso escrito de los editores.

El editor no es responsable (de hechos de responsabilidad, negligencia u otra) por lesión alguna resultante de cualquier material contenido aquí. Esta publicación contiene información relacionada a principios generales de cuidados médicos que no deben ser tomados como instrucciones específicas para pacientes individuales.

La información y empaque de productos manufacturados insertos deben ser revisados para el conocimiento actual, incluyendo contraindicaciones, dosis y precauciones.

Publicado originalmente en inglés bajo el título

Digital Orthodontics, by Stefan Abela, 1st edition.

Copyright © The Editor(s) (if applicable) and The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG, 2024

Esta edición ha sido traducida y publicada bajo acuerdo de Springer Nature Switzerland AG.

Springer Nature Switzerland AG no se hará responsable por cuanto a la exactitud de esta traducción.

ISBN: 978-3-031-79095-9

Edición en idioma castellano:

Copyright © 2026. Editorial Amolca S. A. S.

Ortodoncia digital. Soluciones terapéuticas innovadoras, de Stefan Abela, 1.ª edición

eISBN: 978-9962-748-31-1

Edición año 2026

Corrección clínica: Dr. Claudio Hernández

Corrección de estilo y gramática: Elsa Mora

Artes finales: Yelitza Peña

Diseño de portada: Steven Cifuentes



**CASA
MATRIZ**

Cra 43 # 9 Sur 195 Ed. Square Torre Inexmoda Ofc. 1334 - 1338 Medellín, Colombia

+573027157665 (604) 479 74 31 hola@amolca.com www.amolca.com

AMOLCA COLOMBIA



Circular 5 #71 A - 5 Barrio Laureles
(604) 444 3314
+57 3175049844
gerencia@amolca.com.co

AMOLCA PERÚ



Jr. Inclán 312 Magdalena del Mar, Lima
+51 998 128 873
ventas@amolca.com.pe

AMOLCA CHILE



+56 944182523
+56 920298344
ventas@amolcachile.com

AMOLCA MÉXICO



Arquitectura 49 – 202 o
Videoportero Amolca. Colonia
Copilco Universidad. Alcañía
Coyoacán. C.P. 04360.
Ciudad de México.
+52 5556580882
administracion@amolcamexico.com

AMOLCA VENEZUELA

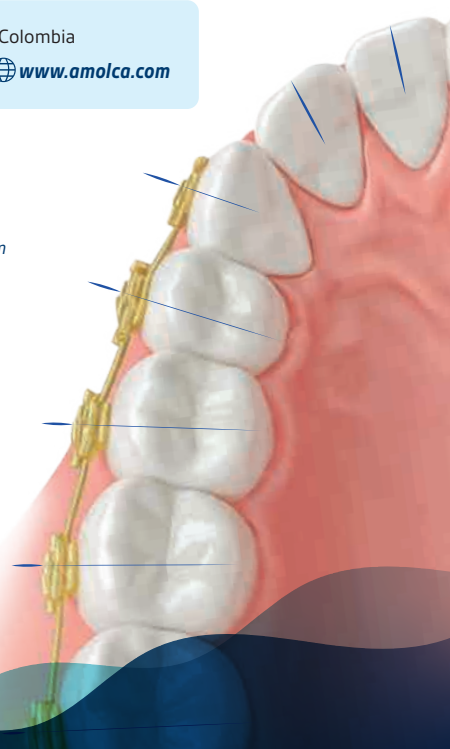


Calle VillaFlor Edificio Centro Profesional del Este
Piso 08 Oficina 81. Urbanización San Antonio /
Sabana Grande Sur Parroquia El Recreo, Municipio
Libertador. Distrito Libertador
+58 414 255 51 85
comercioexterior@amolca.com



Distribuidores

Argentina - Bolivia - Brasil - Costa Rica - Ecuador - El Salvador - España - Guatemala
Honduras - Nicaragua - Panamá - Paraguay - República Dominicana - Uruguay



Dedicado a mi esposa, Milisba.

Un mensaje profesional del autor

Este es un libro que espero rejuvenezca su carrera profesional y la impulse a un nivel aún por descubrir que usted no creía posible, despertando un interés incontable por ofrecer su especialidad preferida de una forma nueva.

Presentar toda esta información recopilada en forma de libro ha sido desalentador, desafiante y ha llevado mucho tiempo, y esta expresión solo puede describirse como una subestimación de la dedicación puesta en la entrega de un libro al más alto nivel posible y a tiempo. Sin embargo, no ha sido para mí más que un placer entregárselo.

Escribir este libro supuso interminables horas de investigación, colaboración con otros expertos en la especialidad y una prueba para mi carácter. He cambiado por completo mi visión de la profesión, pues no he experimentado más que apoyo y he sido testigo de un espíritu de colaboración y ayuda.

También espero que una vez que avance en este libro, descubra una gran pasión por ofrecer los más altos estándares de ortodoncia de la forma más contemporánea posible, un método revolucionario que implica la tecnología más novedosa disponible en medicina.

Comparto este libro con un nuevo vigor, y al ser mi tercera obra es posible que note una forma más madura de escribir. Dejaré que sea usted quien decida cómo quiere utilizar e interpretar este texto.

Puede que tenga este libro para adquirir conocimientos, aumentar la confianza o simplemente para inspirar y modificar las técnicas de forma que, en última instancia, beneficien a los pacientes. Es posible que quiera utilizarlo para abrir los ojos a la plétora de tecnologías disponibles y que no haya tenido tiempo de reflexionar y validar su uso en la práctica.

Espero sinceramente que si la práctica le ha resultado difícil a veces y se ha preguntado si tiene la energía necesaria para mantenerla a largo plazo, este libro lo capacite para construir esa oleada, revalidación y el hallazgo de un nuevo yo, ya que, en última instancia, no sabemos lo que nos depara el mañana. ¿Por qué no construir esa consulta de alta gama basada en la tecnología que siempre ha deseado? ¿Por qué no caer en la tentación de abrazar las nuevas tecnologías? ¿Por qué no convencerse de las ventajas de las distintas tecnologías, quizá las mismas de las que ya están convencidos sus compañeros más jóvenes?

He decidido personalmente hacer este libro a mano, ya que no había ninguno igual, y realmente pensé que usted y cualquier otro clínico que practique la ortodoncia podría beneficiarse de tenerlo físicamente en el estante, o simplemente saber de su existencia.

Seamos audaces y ayudemos a ampliar los límites de nuestra profesión.

Con inspiración, respeto y un profundo sentido de la colaboración,

Stefan Abela.

Prefacio

Este libro se ha planificado y ejecutado con la intención principal de ofrecer la orientación más actualizada y fácilmente accesible sobre las técnicas, el equipo y los conceptos necesarios para proporcionar un viaje totalmente digitalizado al paciente moderno que busca tratamiento ortodóncico. También describe los procedimientos clínicos, las técnicas y cómo adoptar las nuevas tecnologías para ofrecer la mejor prestación especializada. Este libro esboza los procesos de cómo las etapas clínicas clave se pueden proporcionar en un formato digital para hacer que la experiencia del paciente sea completamente contemporánea. Estas etapas clave incluyen la adquisición de imágenes clínicas y radiográficas, el diseño y la fabricación de aparatos de ortodoncia. Este libro también proporciona información muy valiosa sobre los últimos escáneres intraorales, programas de *software*, *hardware*, materiales, láseres, impresión 3D y tecnología CAD/CAM. El segundo apartado describe la evolución futura prevista dentro de la especialidad. Este aspecto de la ortodoncia, al igual que otras especialidades, ha ido adquiriendo un impulso sin precedentes y, sin duda, desempeñará un papel cada vez más importante, si no totalmente esencial. Este libro será de gran utilidad tanto para los estudiantes universitarios de pregrado como para los posgraduados y los profesionales clínicos en ejercicio que deseen adquirir más conocimientos sobre cómo convertir su consulta en una consulta digital.

Cambridge, Reino Unido

Stefan Abela

Introducción

La era de la tecnología digital complementada con la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una realidad tangible que, sin duda, mejorará los servicios prestados por los médicos y los resultados finales de los pacientes. El objetivo de un flujo de trabajo totalmente digitalizado es acelerar el ritmo de prestación de los servicios clínicos y, al mismo tiempo, mejorar los resultados finales simplificando los procesos de diagnóstico, la planificación del tratamiento y las fases finales de ejecución del tratamiento. Un flujo de trabajo plenamente digitalizado se extiende hasta las fases finales del tratamiento, que en ortodoncia es el suministro de retenedores para su uso a largo plazo.

Estos flujos de trabajo digitalizados permiten protocolos muy estandarizados de todas las fases de tratamiento mencionadas anteriormente, eliminando cualquier diferencia subjetiva en la interpretación de la administración del tratamiento, las diferencias en las habilidades de destreza manual, y podrían mejorar la previsibilidad esperada por los pacientes.

Con todas las ventajas mencionadas, puede sorprender que la adopción de las vías digitalizadas no haya sido tan rápida como el mercado podría haber previsto. Las razones podrían ser múltiples y de naturaleza multifactorial. Entre ellas, cabe citar las siguientes:

- Habilidades específicas que los médicos necesitan obtener para poder ofrecer esta forma moderna de práctica.
- El reto obstructivo de cambiar los patrones arraigados de la propia práctica para brindar mejor atención.
- La difícil perspectiva de cambiar técnicas clínicas que se sienten como algo natural, que se han aplicado durante años y que se sabe que dan buenos resultados.
- La costosa inversión en equipos, incluidos los componentes de *hardware* y *software*.
- Cualquier costo adicional recurrente de los materiales consumibles necesarios con las vías digitalizadas.
- Cuotas recurrentes de *software* tras la instalación inicial.
- Tasas adicionales asociadas a la renovación y/o actualización de licencias de *software*.
- La constante actualización de los equipos hace que cualquier equipo adquirido quede obsoleto al cabo de muy poco tiempo.

- La curva de aprendizaje asociada a la manipulación de *software* y *hardware*.
- Obtener el espacio físico para albergar el equipo.
- Justificar los argumentos empresariales para pasar de técnicas conocidas menos costosas a otras digitales que podrían ser más caras.
- La necesidad de formar a todos los miembros del personal para que todo el equipo pueda prestar el mismo nivel de servicio.

Las tres etapas principales de un flujo de trabajo totalmente digital son las siguientes:

1. La adquisición de los modelos digitales intraorales de los pacientes con el uso de escáneres intraorales.
2. La manipulación de los archivos obtenidos en la primera etapa mediante programas informáticos propios, en función del uso previsto por el equipo clínico, incluido el diseño de los aparatos.
3. La transferencia de los archivos digitales finales a un equipo de impresión 3D para obtener la copia física del estudio y/o los modelos de trabajo o la producción del aparato necesario.

Es casi un hecho que el uso de flujos de trabajo digitales aumentará a niveles sin precedentes con el paso del tiempo, similar al uso de vehículos eléctricos. Lo más probable es que se produzca un ritmo exponencial de mejoras, con un cambio proporcional de los médicos que recurran a métodos novedosos de prestación de ortodoncia, lo que liberará un deseo infinito de mejorar aún más la tecnología y hará que los precios sean más accesibles en beneficio de todos los usuarios y destinatarios.

El objetivo de este libro es dotar a los profesionales que realizan tratamientos de ortodoncia de los conocimientos más recientes sobre los equipos disponibles en el mercado, describir las fases clínicas detalladas que deben adoptarse para ofrecer estas técnicas modernas y cualquier innovación futura que pueda ofrecer el mercado para que su consulta esté preparada para el futuro.

Stefan Abela

Agradecimientos

Ha sido absolutamente conmovedor ver cómo la profesión y mis más estimados colegas se han unido para ayudar, compartir y difundir nuestros conocimientos en beneficio de la comunidad científica en general. No quisiera olvidar a nadie que haya sido de tanta ayuda y que haya contribuido inconmensurablemente con este libro, espero haber incluido a los principales colaboradores en este apartado.

Muchas gracias en primer lugar al consejo editorial de Springer International, que impulsa proyectos de libros de este calibre y enriquece el conocimiento científico al seguir siendo el principal protagonista en el ámbito de las publicaciones médicas.

También me gustaría agradecer personalmente al Dr. Rolf Kühnert del *software* OnyxCeph³™, Image Instruments, Chemnitz, Alemania, y al Prof. Dr. Benedict Wilmes de la Universidad del Departamento de Ortodoncia, Düsseldorf, Alemania, por sus contribuciones.

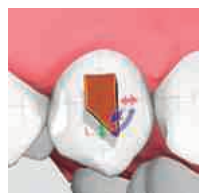
Otro agradecimiento a Joanne Staples y Tayla Sewell, de Materialise, Lovaina (Bélgica).

La aportación de la Dra. Elisa Praderi, de FormLabs, ha sido muy positiva, y también agradezco la del Sr. Holger Emmert, de SprintRay Europe.

El Sr. Paul-Henri Aguzou, de Coruo (Limoges, Francia), ha sido tan generoso al ofrecer su ayuda para este proyecto, que seguiré en deuda con él durante bastante tiempo.

Gracias también a Paige Asady, del Departamento de Marketing de KL Owen, y a Heather Peterson y Claire Sutter, de Global Content Operations de Solventum.

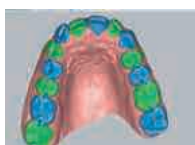
Guía de contenido



1	Parte I Conceptos básicos y materiales	
	Conceptos clínicos básicos.....	3
2	Principios básicos de CAD/CAM.....	19
3	Impresión 3D.....	29
4	Procedimientos de remoción de partículas excedentes y procesamiento posterior.....	39
5	Parte II Aplicaciones clínicas de la ortodoncia digital	
	Creación digital de modelos de ortodoncia...	47



6 Diseño digital de aparatos de ortodoncia..... 61



7 Diseño e impresión de alineadores transparentes en la práctica dental..... 83



8 Cementación indirecta..... 93



9 Personalización e impresión 3D de *brackets* como aparatología fija..... 99



10 Entrega digital de miniimplantes de ortodoncia (OMI)..... 111



11 Entrega digital de cirugía ortognática y guías quirúrgicas..... 119



12 Parte III Evolución futura de la ortodoncia digital Avances en ortodoncia digital..... 137



13 Parte IV Pruebas científicas disponibles en ortodoncia digital Ortodoncia digital basada en la evidencia..... 147

Sobre el autor

Stefan Abela, BChD MFDS RCS Eng MSc MOrth RCS, ESPECIALISTA en Ortodoncia

CONSULTOR en Ortodoncia

Becario de doctorado, Universidad de Cambridge, Cambridge, Reino Unido

Proveedor Platino Invisalign UK

Ponente internacional en ortodoncia

Examinador nacional en The Royal Surgeons of Edinburgh, Edimburgo, Reino Unido

Autor de más de 35 artículos científicos internacionales sobre ortodoncia

Autor médico internacional: *Leadership and Management in Healthcare: A Guide for Medical and Dental Practitioners*. ISBN 978-3-031-21025-9

Autor médico internacional: *Aligner Systems in Invisible Orthodontics: Basic Concepts and Clinical Management*. ISBN 978-3031-49203-7

Antiguo consultor en ortodoncia, Guy's and St Thomas' NHS Foundation Trust, Londres, Reino Unido.

Exjefe de servicio del Norfolk and Norwich University Hospital, Norwich, Reino Unido

Supervisor clínico, Health Education East of England, Inglaterra, Reino Unido

Supervisor educativo, Health Education East of England, Inglaterra, Reino Unido

Director en 128 Harley Street Dental Suite, Londres, Reino Unido

Director en Newnham Dental Practice, Ely, Cambridgeshire, Reino Unido

Revisor invitado del European Journal of Orthodontics

Revisor invitado del Australasian Orthodontic Journal

Revisor invitado del Journal of Orthodontics

Revisor invitado del American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics

El Dr. Stefan Abela es especialista y consultor en ortodoncia, y dirige consultas privadas en Londres y Ely, Cambridgeshire, en el Reino Unido. Obtuvo su primera titulación en el Malta Medical School, University of Malta, Msida, Malta, en 2003. Hasta la fecha, ha obtenido numerosos títulos de posgrado en The Royal College of Surgeons de Inglaterra y en The Royal College of Surgeons de Edimburgo. Ha participado activamente en el programa nacional de educación y formación de

posgraduados del Reino Unido y ha sido consultor en Guy's and St Thomas' NHS Foundation Trust, Reino Unido, y jefe de Departamento en Norfolk and Norwich University Hospitals NHS Foundation Trust, Norwich, Reino Unido. Considerado un líder internacional en su profesión, es un ávido colaborador académico y publica constantemente artículos científicos en revistas internacionales revisadas por pares. También es un autor médico de renombre internacional y superventas. Entre los libros de texto de su autoría figuran *Leadership and Management in Healthcare: A Guide for Medical and Dental Practitioners*, publicado en 2023, y *Aligner Systems in Invisible Orthodontics: Basic Concepts and Clinical Management*, publicado en 2024. Actualmente está afiliado a la Universidad de Cambridge, donde lleva a cabo una investigación pionera sobre biopolímeros utilizados en la impresión 3D de dispositivos médicos, con la aspiración de convertirse en un experto mundial en el campo de los biopolímeros.

Siglas

2D, bidimensional
3D, tridimensional
3DIRM, resonancia magnética tridimensional
3DUS, ultrasonido tridimensional
ABO, American Board of Orthodontics
ABS, acrilonitrilo butadieno estireno
AEC, arquitectura, ingeniería y construcción
AFI, interferometría de franja de acordeón
ALARA, tan bajo como sea razonablemente posible
AP, anteroposterior
ARI, índice estético remanente
ATM, articulación temporomandibular
AuDAPT, alineador dental modificado con nano partículas de oro
BJ, inyección de aglutinante
BPA, bisfenol-A
BSSO, osteotomía sagital bilateral dividida
CA, alineadores transparentes
CAD, diseño asistido por computador
CAM, fabricación asistida por computador
CAT, terapia de alineadores transparentes
CBCT, tomografía computarizada de haz cónico
CBCT 3D, tomografía computarizada de haz cónico tridimensional
cDLP, procesamiento directo continuo de la luz
CM, monitoreo convencional
CNCM, máquina de control numérico por computador
CNN, red neuronal convolucional
CVM, maduración vertebral cervical
DICOM, imágenes Digitales y Comunicaciones en Medicina
DLP, procesamiento directo de la luz
DM, monitorización dental remota
DMLS, sinterización directa de metales por láser
DVT, tomografía de volumen digital
EBM, fusión por haz de electrones

FA, aparatos fijos (*fixed appliances*)
 FA, punto del eje facial (*facial axis point*)
 FDA, Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE. UU.
 FDM, modelado por deposición fundida
 FEM, modelo de elementos finitos
 FFF, fabricación de filamentos fundidos
 IA, inteligencia artificial
 IBT, cubeta de adhesión indirecta
 IDB, enlace indirecto digital
 IOFTN, índice de necesidad de tratamiento funcional ortognático
 IOTN, índice de necesidad de tratamiento
 IOSim Invisalign®, simulador de resultados Invisalign®
 IPA, alcohol isopropílico
 IPE, expansores palatinos Invisalign®
 IPR, reducción interproximal
 ISL, luz estructurada infrarroja
 Lat Ceph, cefalograma lateral
 LCD, pantalla de cristal líquido
 LOM, fabricación de objetos laminados
 LS, escáneres láser
 L-SLA, estereolitografía por láser
 MJF, fusión de chorro múltiple
 ML, aprendizaje automático
 mm, milímetro
 MSLA, estereolitografía enmascarada
 MSM, modelo masa-resorte
 MTM, modelo tensorial de masas
 OBJ, formato de archivo de objetos
 OGS, sistema de calificación objetiva
 OMI, miniimplante de ortodoncia
 OPG, ortopantomograma
 PA, poliamidas
 PA, radiografías periapicales
 PAR, calificación de evaluación de pares
 PEEK, polieteretercetona
 PJ, polyjet
 PLA, ácido poliláctico
 PLY, formato de archivo de polígonos
 PMMA, polimetacrilato de metilo
 PPP, fotopolímero por flujo de polietileno
 PSQ, polisilsesquioxano
 PTG, tereftalato de polietileno modificado con glicol
 PVS, polivinil siloxano
 QA-GNCs, amonio cuaternario
 RNA, red neuronal artificial
 ROI, regiones de interés

SaMD, *software* como dispositivo médico
SFA, primer abordaje quirúrgico
SL, escáneres de luz estructurada
SLA, estereolitografía
SLM, fusión selectiva por láser
SLS, sinterización selectiva por láser
SME, materiales con efectos de memoria
SMM, materiales con memoria de forma
STL, lenguaje estándar de teselación
TC, tomografía computarizada
TMM, seguimiento del movimiento mandibular
TP, poliuretano termoformado
TPM, monometílico de tripropilenglicol
UDMA, dimetacrilato de uretano
UKCA, UK Conformity Assessed
VSP, planificación quirúrgica virtual
VTO, objetivo del tratamiento visual
VTO 3D, objetivo del tratamiento visual tridimensional

Parte I

Conceptos básicos y materiales

1 Conceptos clínicos básicos

1.1. Introducción

La ortodoncia se ha consolidado como una de las especialidades de la odontología más receptivas a la incorporación de tecnologías digitales emergentes. Estas tecnologías han revolucionado la práctica clínica, beneficiando a los usuarios, los operadores clínicos o profesionales y a los pacientes que hacen uso de estas nuevas herramientas.

A nivel clínico, el flujo de trabajo puede estructurarse en tres fases operativas fundamentales:

1. Adquisición digital: la obtención de los registros iniciales y/o finales en formato totalmente digital.
2. Planificación digital: la manipulación digital de los registros obtenidos mediante los programas informáticos (*software*) adecuados.
3. Fabricación clínica: la conversión final de la interpretación del *software* a través de la elaboración de aparatos necesarios para el uso clínico.

La **Figura 1.1** ilustra un flujo de trabajo totalmente digitalizado en una consulta típica.

Este capítulo pretende simplificar las fases de un plan de tratamiento ortodóncico totalmente digitalizado basándose en la fase de aplicación mencionada anteriormente y, en un formato general alternativo más utilizable, también podrían clasificarse del siguiente modo:

1. Fase de pretratamiento.
2. Fase de planificación.
3. Fase de ejecución.

Este capítulo también pretende describir los requisitos de *hardware* y *software* necesarios para proporcionar un plan de tratamiento totalmente digitalizado.

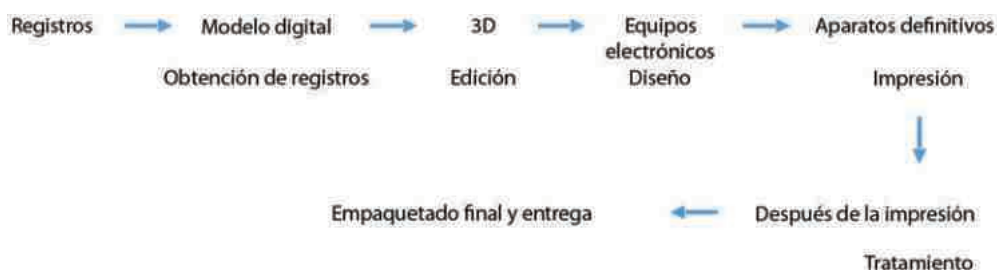


Figura 1.1. Un flujo de trabajo totalmente digitalizado.

1.2. Adquisición de registros digitales

La primera etapa de cualquier tratamiento de ortodoncia es la obtención de registros actualizados. Esto consta de tres partes:

1. Modelos digitales de estudio dental.
2. Radiografías digitales.
3. Fotografías digitales extra e intraorales.

1.2.1. Modelos digitales de estudio dental

La obtención de modelos de estudio dental en formato digital es uno de los pasos iniciales de un tratamiento de ortodoncia. En la última década, la tecnología de escaneo se ha actualizado continuamente y ahora se ha perfeccionado más que nunca. Las sutiles diferencias entre los distintos escáneres intraorales se reducen ahora a la velocidad y el tipo de captura de imágenes más que a la precisión y la facilidad de uso.

Convencionalmente, esta etapa se llevaba a cabo utilizando impresiones de alginato o polivinil siloxano (PVS, por sus siglas en inglés); sin embargo, para algunos pacientes este procedimiento sigue siendo incómodo y en dicho proceso, los modelos de trabajo pueden presentar deficiencias en la captura de partes de la superficie de los dientes que eventualmente pueden comprometer el ajuste del aditamento elaborado.

Otros pacientes podrían ser más sensibles y más susceptibles a una mayor experiencia de náuseas, lo que convierte a los escáneres intraorales en una herramienta extremadamente útil en la práctica moderna.¹

Otras ventajas de los modelos de estudio digitales frente a las impresiones convencionales son:

- Mayor rapidez en la obtención de modelos de estudios dentales.²
- Facilidad de transmisión digital de registros entre diferentes centros y/o proveedores.³
- Más responsabilidad con el medio ambiente gracias a la reducción del uso de materiales y del transporte.
- Mejor comunicación entre el clínico y el paciente gracias a una mejor observación de los hallazgos intraorales.⁴
- Mayor participación de los pacientes en la planificación.⁵ Mejor comunicación entre el clínico y el técnico dental.^{6,7}

- Manipulación digital más sencilla de los modelos de estudio digitales con fines de planificación.⁸
- Mediciones digitales directas de puntos de interés específicos.^{9,10}
- Facilidad y posibilidad de obtención por miembros auxiliares del personal dentro del equipo odontológico y depender menos de habilidades, conocimientos materiales y cualificaciones.¹¹
- Se necesitan menos áreas de almacenamiento con los estudios digitales en comparación con los modelos de estudio de yeso o convencionales.¹²⁻¹⁴
- No hay posibilidad de daños irreversibles en los modelos de estudio.¹⁵
- Posibilidad de reexplorar o modificar un campo de interés.¹⁶

Las desventajas de obtener modelos de estudio digitales son menos, siendo principalmente:

- Adquirir la habilidad para obtener arcadas dentales completas.¹⁷
- Costos de adquisición del equipo y mantenimiento.¹⁸
- Empleo de mayor cantidad de tiempo, en comparación con la toma de impresiones convencional.¹⁹
- Dificultad para obtener márgenes subgingivales preparados para la rehabilitación protésica.^{4,20}
- Los fluidos orales pueden ser un obstáculo para la captura de imágenes, especialmente en las zonas interdentes o subgingivales.²⁰

Los modelos digitales de estudio dental pueden obtenerse utilizando escáneres intraorales o extraorales.

1.2.2. Escáneres intraorales

La aparición de los escáneres intraorales junto con el diseño y la fabricación asistidos por computador (CAD/CAM, por sus siglas en inglés, respectivamente) ha dado lugar a una gran variedad de escáneres intraorales disponibles en el mercado. Este gran número de marcas y modelos de escáneres intraorales varían principalmente en precio, estética, portabilidad y modo de acción.

Todos los escáneres intraorales emplean alguna de estas cuatro tecnologías para la captura de imágenes:

1. triangulación,
2. imagen confocal,
3. interferometría de franja de acordeón (AFI, por sus siglas en inglés) o,
4. exposición de muestra ante una onda frontal activa, a través de video en 3D en movimiento.²¹

Los principales escáneres intraorales más recientes y las últimas versiones podrían enumerarse por orden alfabético de la siguiente manera:

- Aoralscan 3 de SHINING 3D, Hangzhou, China.
- CEREC Primescan de Dentsply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU.
- i900 de Medit Corp., Seúl, Corea del Sur.

- Lumina by iTero, Aligntech Inc., San José, CA, EE. UU.
- TRIOS 5 de 3Shape, Copenhagen, Dinamarca.

Otros escáneres podrían organizarse alfabéticamente de la siguiente manera:

3Disc Ovo de 3DISC, Herndon, VA, EE. UU.

Alliedstar AS 200E, de Alliedstar Medical Equipment Co., Ltd., Pudong, Shanghai, China.

Carestream CS3800 de Carestream, Rochester, NY, EE. UU.

Helios by Eighteenth, Safari Medical Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, China.

Launch DL-300 por Guangdong Launca Medical Device Technology Co., Ltd., Dongguan, China.

PANDA Smart by Freqty Technology, Chengdu, Sichuan, China.

Planmeca Emerald S, del Grupo Planmeca, Helsinki, Finlandia.

RAYiO2 de Ray Medical, Seúl, Corea del Sur.

3DS 3.0 de Runyes Medical Instrument Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, China.

Virtue Vivo del Grupo Straumann, Basilea, Suiza.

Vivascan de Ivoclar, Schaan, Liechtenstein.

Los puntos en común entre los distintos tipos se centran en la generación de imágenes, siendo los siguientes los formatos de imagen más utilizados:

1. STL (siglas en inglés de lenguaje estándar de teselación).
2. PLY (siglas en inglés de formato de archivo de polígonos).
3. OBJ (siglas en inglés de formato de archivo de objetos).

1.2.2.1. Lenguaje estándar de teselación

El STL sigue siendo el formato de imagen más utilizado tras el escaneado intraoral.

Desarrollado originalmente por Charles Hull, lleva utilizándose más de 30 años y sigue siendo el formato más versátil en ortodoncia digital.

Para simplificar, las imágenes digitales obtenidas se componen de coordenadas 3D representadas como una malla de triángulos. Los archivos STL son prácticamente compatibles con la mayoría de los sistemas CAD/CAM existentes y, por tanto, como ya se ha explicado, se definen como el más versátil de todos los formatos.

Las principales ventajas del STL son:

- (a) Facilidad de uso con la mayoría de las impresoras 3D y de diseño asistido por computador.
- (b) Código abierto.
- (c) Formato universalmente aceptado.

Las principales desventajas de STL son:

- (a) Permite la impresión 3D en un solo color gracias a la posibilidad de almacenamiento monocromo.
- (b) Nivel limitado de datos accesibles de los archivos tras su almacenamiento, lo que conlleva una posible pérdida de resolución.

Las imágenes obtenidas tras el escaneado pueden requerir grandes capacidades de almacenamiento, lo que obliga a comprimirlas y descomprimirlas para almacenarlas o transmitir las. Ello conlleva inevitablemente una pérdida de resolución, y el operador debe tener en cuenta que las imágenes deben seguir representando la precisión necesaria para su uso previsto. Un estudio específico sobre imágenes STL comprimidas y descomprimidas de arcos en dentición mixta y secundaria no mostró distorsiones dimensionales de los modelos 3D.²²

La exactitud de los archivos digitales se juzga en función de la precisión y la veracidad.²³ La primera se define como la proximidad de las mediciones repetidas de los mismos dos puntos en diferentes momentos, mientras que la segunda se define como la proximidad entre la dimensión de dos puntos escaneados y las dimensiones en la vida real.²⁴

1.2.2.2. Formato de archivo de polígonos

El PLY al igual que el STL, es un formato de modelo 3D de uso común en ortodoncia digital.

Las principales ventajas del PLY son:

- (a) Puede almacenarse en diversos formatos de color.
- (b) Sin pérdida de detalle tras el almacenamiento.
- (c) Puede utilizarse con casos que implican un enfoque multidisciplinario, especialmente cuando se necesita odontología estética, ya que permite diferenciar los distintos tejidos orales.

Las principales desventajas del PLY son:

- (a) No tan utilizado por el *software* CAD como el STL.
- (b) No todos los escáneres intraorales pueden exportar en formato PLY.
- (c) Podría necesitar grandes capacidades de almacenamiento.

1.2.2.3. Formato de archivo de objetos

El OBJ es un formato 3D similar a STL y PLY, muy utilizado en ortodoncia digital, aunque, tomando en cuenta los mencionados, es el menos utilizado.

El formato OBJ permite una captura más complicada de las superficies del tejido oral, incluida la orientación y la posición relativa de las distintas estructuras. Esto proporciona unas imágenes más detalladas que podrían ser útiles en odontología estética, pero no tan bien utilizadas en ortodoncia.

Las principales ventajas del OBJ son:

- (a) Obtención de imágenes más detalladas de las superficies de los tejidos orales.
- (b) Almacenamiento de formatos de archivo en diversos formatos de color.
- (c) Puede ser la opción elegida para diferentes especialidades dentro de la odontología.

Las principales desventajas del OBJ son:

- (a) Podría requerir grandes capacidades de almacenamiento.
- (b) No todos los escáneres intraorales tienen capacidad para exportar archivos en formato OBJ.

1.2.3. Escáneres dentales extraorales

Los escáneres dentales extraorales ofrecen la posibilidad de proporcionar una solución completamente digital a un tratamiento de ortodoncia y superan la inversión inicial en equipos que necesita el clínico. Con los escáneres extraorales, el clínico tiene la posibilidad de tomar impresiones convencionales y permite que el laboratorio las procese utilizando un escáner externo.

Existen dos tipos de escáneres extraorales:

1. Escáneres extraorales directos.
2. Escáneres extraorales indirectos.

1.2.3.1. Escáneres dentales extraorales directos

Los escáneres extraorales directos, como su nombre indica, permiten escanear directamente una impresión sin necesidad de vaciarlas en modelos de yeso o convencionales.

La eliminación de esta fase de fabricación no solo ahorra tiempo, sino que también elimina las fuentes de error que suelen introducirse con las impresiones convencionales.

Existen tres tipos de escáneres extraorales directos:

1. Escáneres mecánicos mediante sondas táctiles.²⁵
2. Escáneres láser.
3. Escáneres de luz blanca.²⁶

Los escáneres de luz blanca tienen una precisión superior a la de los escáneres láser y no entran en contacto físico con la impresión, a diferencia de los escáneres mecánicos.

1.2.3.2. Escáneres dentales extraorales indirectos

Los escáneres indirectos, también denominados escáneres externos (de escritorio), son una alternativa para proporcionar un flujo de trabajo digital sin necesidad de realizar la inversión inicial en la compra de escáneres intraorales.

1.2.4. Escáneres CBCT

El uso de escáneres CBCT es otro flujo de trabajo indirecto que utiliza las tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT, por sus siglas en inglés) de los pacientes para extraer los datos necesarios para generar modelos digitales.²⁷

Los escáneres CBCT también pueden escanear impresiones tradicionales y producir una copia digital. Al acceder al *software* y colocar la impresión del arco maxilar en la plataforma de escaneado, seguida del arco mandibular y el registro de la

mordida, el *software* adjunto puede producir las imágenes 3D de los modelos de estudio a partir de las impresiones.²⁸

1.2.5. Radiografías digitales

Las radiografías digitales se utilizan desde hace algún tiempo tanto en formato 2D como 3D. Esto es igualmente válido para las radiografías ortodóncicas rutinarias solicitadas; ortopantomograma (OPG, por sus siglas en inglés), cefalograma lateral (Lat Ceph, por sus siglas en inglés), y radiografías periapicales (PA, por sus siglas en inglés) y para CBCT.

Rutinariamente las radiografías 2D son la elección predilecta, combinándolas con radiografías periapicales específicas, según sea el caso, en lugar de radiografías periódicas de toda la boca y radiografías 3D, ello, con el fin de adherirse al principio “tan bajo como sea razonablemente posible” (ALARA).²⁹

1.2.6. Fotografías digitales extraorales e intraorales

Aunque las fotografías 2D se utilizan en formato digital desde hace mucho tiempo, las fotografías 3D extraorales e intraorales han ido ganando cada vez más popularidad y, junto con los escáneres faciales y las CBCT, representan el futuro de los registros dentales con índices de precisión óptimos.³⁰

Las aplicaciones y ventajas de la fotografía 3D pueden hacerse muy evidentes al evaluar las estructuras faciales, incluidos los tejidos blandos, en pacientes con deformidades craneofaciales. Este último grupo incluiría pacientes diagnosticados de labio fisurado y paladar hendido, asimetrías faciales de etiología esquelética y pacientes sometidos a cirugía ortognática.³¹

Las limitaciones de las CBCT para contrastar los tejidos duros y blandos de las estructuras faciales las hacen inadecuadas para reproducir el perfil de los tejidos blandos faciales de un individuo.³²

1.2.6.1. Fotografías digitales extraorales/escáneres faciales

Escáneres faciales 3D

El escaneado extraoral 3D, también conocido como escáner facial, puede obtenerse mediante los siguientes tipos de métodos:

- Escáneres ópticos de dos tipos
 - Escáneres de luz estructurada (SL, por sus siglas en inglés).
 - Luz estructurada infrarroja (ISL, por sus siglas en inglés).
- Escáneres láser (LS, por sus siglas en inglés).
- Fotogrametría y estereofotogrametría.

Escáneres ópticos

Los escáneres de luz, que pueden ser estructurados o basados en un sistema de infrarrojos, proyectan patrones de luz sobre un sujeto que, a su vez, son captados por un sistema de cámaras que forma parte del dispositivo. El *software* interpreta

el patrón triangulado de patrones luminosos captados para obtener una imagen facial en 3D.

La **Figura 1.2** ilustra este método de barrido luminoso.

Escáneres láser

Un sistema de escaneado facial basado en el método láser depende en gran medida de una configuración muy similar a la descrita anteriormente para los escáneres de luz. Una cámara detecta y capta todas las proyecciones láser desde distintos ángulos y, con ayuda del software informático, se puede reconstruir una imagen facial en 3D.

La **Figura 1.3** ilustra este método de escaneado facial por láser.

Figura 1.2. Escaneado con luz estructurada utilizando un proyector, una cámara y un sistema informático para obtener una imagen facial en 3D.

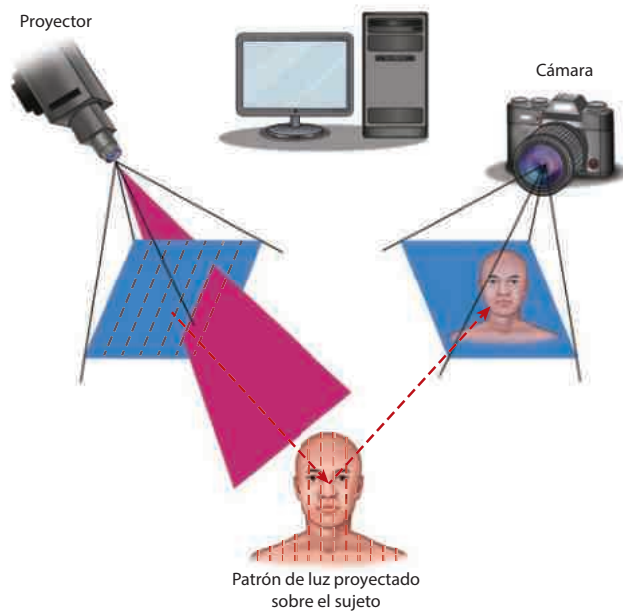
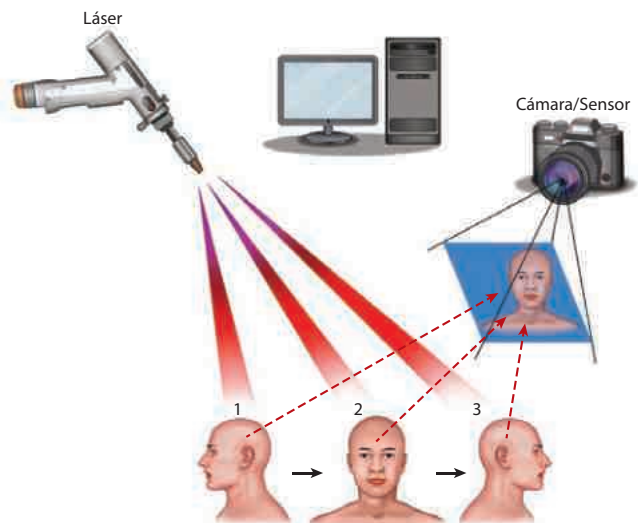


Figura 1.3. Los escáneres láser registran al sujeto en múltiples posiciones tomando escaneos de múltiples posiciones. A continuación, una cámara capta estos escaneos y un algoritmo informático los computa en una imagen.



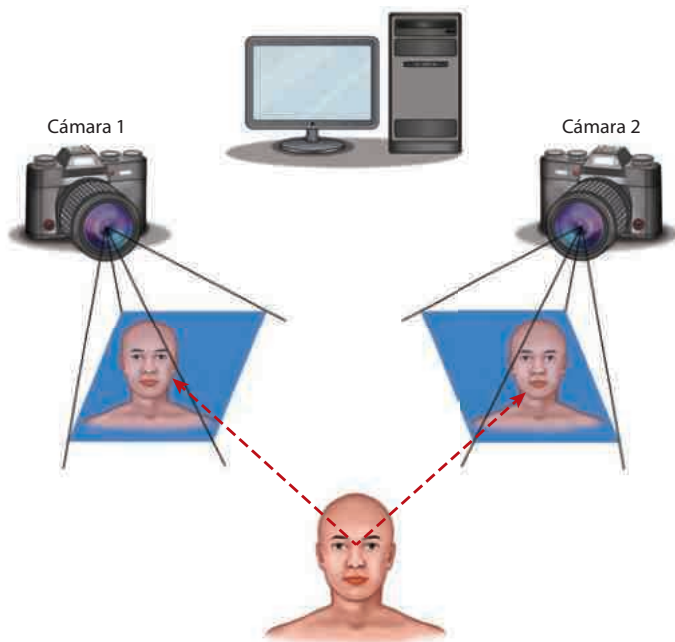
Fotogrametría

La fotogrametría y la estereofotogrametría son tecnologías basadas en técnicas de cartografiado de una superficie de interés mediante fotografía digital; en el segundo caso, el procesamiento cartográfico se realiza desde dos planos diferentes. También depende de un programa informático para configurar las numerosas imágenes y combinarlas para producir un escaneado facial 3D satisfactorio. La **Figura 1.4** ilustra la combinación de fotogrametría y estereofotogrametría.

La precisión de los escáneres faciales ha demostrado tener un estándar muy aceptable de 2,0 mm establecido por la industria, y el tipo de escáner elegido influye en el resultado de la precisión.³³⁻³⁵ También se ha demostrado que los escáneres faciales para móviles presentan un nivel aceptable, aunque no tan preciso como los sistemas profesionales.³⁶ Dos sistemas de uso común: Bellus3D® Face Camera Pro (Bellus3D) (Bellus3D Inc., Los Gatos, California, EE. UU.), y el sistema 3dMDface (3dMD) (3dMD Inc., Atlanta, Georgia, EE. UU.) fueron objetos de estudio, a su vez, se compararon entre sí y específicamente en cuanto a exactitud y precisión. La veracidad de las imágenes era aceptable y la precisión de las fotografías era de muy altos estándares, con una credibilidad ante los agentes de estudio, extremadamente alta.³⁷

Otros sistemas muy conocidos son el escáner Morpheus 3D® (Morpheus Co., Seúl, Corea). Un estudio realizado en infantes con este dispositivo específico de fotogrametría 3D reveló que la precisión registrada era ligeramente inferior a la de las capturas faciales 3D en adultos.^{38,39} La mayoría de los sistemas como Metismile, Shining 3D, Hangzhou, China, Artec 3D Senningerberg, Luxemburgo, permiten la superposición de tejidos intraorales con la ayuda de *softwares* como Exocad GmbH Darmstadt, Alemania, Dentalwings Inc., Montreal, Canadá y Geomagic Inc., Carolina del Norte, EE. UU. Otros escáneres faciales 3D disponibles en el mercado son Face Hunter, Zirkoknzahn® GmbH, Gais, Bolzano, Italia, Snap® DOF Inc., Santa Clara, California, EE. UU.

Figura 1.4. Un montaje de fotogrametría y estereofotogrametría que requiere la cartografía de un sujeto desde diferentes ángulos y planos en el caso de la estereofotogrametría.



Escáneres faciales portátiles y teléfonos móviles

También existen sistemas de escáner portátiles que podrían ser muy fáciles de usar y una forma más económica de producir imágenes en 3D de las estructuras faciales. Entre ellos se encuentran Vectra® H1 (Canfield Scientific, Parsippany, NJ, EE. UU.) y Scanify (Fuel 3D Technologies, Chinnor, Reino Unido).

Otras que pueden tenerse en cuenta son:

- ObiScanner de Fifthingenium, Milán, Italia.
- Face Hunter de Zirkonzhan® GmbH, Gais, Italia.
- Revopoint Pop 2 de Revopoint 3D Shenzhen, China.
- Escáner facial Thunk3D de Beijing Xunheng Technology Co. Ltd., Pekín, CN.

Una de las soluciones más accesibles, es utilizar el dispositivo móvil personal. A continuación, se enumeran por orden alfabético las aplicaciones más adecuadas:

- 3D Scanner App™ de Laan Labs, NY, EE. UU.
- 3DSizeME© por TechMed 3D Inc., QC, Canadá.
- Lienzo© por Occipital Inc., CO, EE. UU.
- Heges 3D Scanner© por Marek Šimoník, Brno, República Checa.
- itSeez3D© por itSeez3D, Inc., Santa Clara, CA, EE. UU.
- Polycam© 2022 Polycam Inc., Pasadena, CA, EE. UU.
- Qlone© de EyeCue Vision Technologies Ltd., Illit, Israel.
- Scandy Pro© por Scandy Inc., Nueva Orleans, EE. UU.

Escáneres faciales 4D

Más recientemente, se han puesto a disposición imágenes en 4D, definidas como imágenes capturadas en 3D con grabación añadida de la dinámica facial en tiempo real.³² Un ejemplo de este sistema es el 3dMDface™ System y el 3dMDtrio™ System. Un estudio en el que se analizó la precisión de este sistema, demostró ser exacto tanto para las mediciones lineales como para las superficiales, por lo que puede aplicarse en la práctica clínica.⁴⁰

Los escáneres faciales portátiles o compatibles con dispositivos móviles demostraron ser menos precisos que los sistemas profesionales disponibles en el mercado.³⁶

Estos dos sistemas proporcionan una cobertura facial completa de 190° y 220°, respectivamente, con grabación de una serie de expresiones faciales y movimientos del habla. Esto permite al operador elegir selectivamente el momento que desee para su posterior análisis y evaluación. La tecnología se basa en el uso de unidades de cámara modulares con un sistema de iluminación LED sincronizado, lo que hace que su uso sea totalmente seguro y con una precisión comprobada de 0,2 mm. El formato de archivo compatible es OBJ.

Superposición de datos digitales

La disponibilidad de las tecnologías mencionadas permite ahora la posibilidad de recrear una réplica totalmente digital de un paciente superponiendo todos los datos individuales resultantes del escáner facial 3D, el escáner intraoral y las imágenes CBCT.³⁴ Esto sigue siendo técnicamente muy difícil de conseguir, entre otras cosas porque los distintos tipos de imágenes admiten diferentes tipos de archivos.

Normalmente, la CBCT exporta archivos en formato DICOM (siglas en inglés de Imágenes Digitales y Comunicaciones en Medicina), mientras que los escáneres faciales y los escáneres intraorales suelen exportar archivos en formato OBJ y STL, respectivamente.

En el pasado se han documentado varios cálculos de superposición.^{34,41} Entre ellos se incluyen los siguientes:

- CBCT y escáner intraoral.
- CBCT y escáner facial.
- Escáner facial y escáner intraoral.
- CBCT, escáner facial y escáner intraoral.^{42,43}

Además, las descripciones de superposición que implican escaneos faciales obtenidos con estereofotogrametría y CBCT podrían conducir posiblemente a la representación en 4D de un historial virtual de pacientes que involucre registros digitales de arcos faciales y superposición que implique puntos de referencia craneofaciales específicos.^{44,45}

1.2.6.2. Fotografías intraorales digitales

La fotografía intraoral digital está hoy en día fácilmente disponible gracias a los avances en la última década. Permite un método muy accesible sin necesidad de recurrir a grandes inversiones tecnológicas, como la compra de escáneres intraorales, y elimina la dependencia de proveedores de laboratorios externos para el uso de escáneres extraorales.

Los modelos dentales digitales logrados fotográficamente mediante estereofotogrametría permiten al clínico obtener los mismos objetivos con un gasto mínimo y permitiendo al mismo tiempo un esquema completamente digital para el paciente.⁴⁶

El uso de la estereofotogrametría en la obtención de modelos digitales de estudio se ha documentado muy bien en el pasado y en numerosas ocasiones.⁴⁷ También se han realizado comparaciones directas positivas con escáneres intraorales y escáneres extraorales, lo que demuestra la precisión y veracidad del método.⁴⁶ Hasta la fecha, el formato más utilizado ha sido el uso de esta técnica para capturar las imágenes utilizando modelos de estudio de yeso o convencionales, sin embargo, la fotogrametría intraoral directa se ha utilizado en prostodoncia al restaurar implantes.⁴⁸

1.3. Fase de planificación

Una vez obtenidos todos los registros necesarios, la siguiente fase del tratamiento consiste en la adquisición de un *software* CAD/CAM que permita la manipulación de los registros ya existentes y posibilite el diseño de los aparatos necesarios.

1.3.1. Utilización de paquetes informáticos

Los componentes de *software* de un recorrido de tratamiento totalmente digitalizado pueden tener diversas funciones y utilizarse en distintas aplicaciones. En ortodoncia, los usos típicos incluyen los siguientes:

- Creación de modelos virtuales en 3D.
 - Objetivo: almacenar una copia del modelo de estudio digital.
 - Ajustes básicos: preparación del modelo para reducir las partes no deseadas de la exploración.
 - Ajustes avanzados: herramientas de reparación, limpieza de bordes, selección de base, identificación de grabado, configuración de oclusión, preparación de impresión 3D para reducir el tiempo de impresión y optimizar el consumo de resina.
- Adhesión indirecta de aparatos fijos.
 - Objetivo: crear un *transfer* para la adhesión indirecta.
 - Ajustes básicos/avanzados: (1) acetato termoformado del *transfer* o (2) impresión 3D.
- Impresión de soportes personalizados para aparatos fijos.
 - Objetivo: diseño e impresión en 3D de *brackets* ('aparatos') personalizados.
 - Método de fabricación: utilización de un programa informático específico de ortodoncia CAD para el diseño de *brackets* personalizados, como UBrackets®, desarrollado por Deltaface, Coruo, Limoges, Francia. Los *brackets* pueden obtenerse del diseño disponible en el *software* o diseñar los totalmente personalizados e imprimirlos utilizando una resina cerámica de alta durabilidad fabricada por Formlabs, Somerville, Massachusetts, EE. UU.
- Diseño y fabricación de alineadores transparentes.
 - Objetivo: diseñar una serie de alineadores transparentes.
 - Método de fabricación: (1) Acetato Termoformado o (2) Impresión 3D directa utilizando resinas fotopolimerizables.
- Impresión de aparatos en 3D.
 - Objetivo: diseñar e imprimir en 3D un aparato de ortodoncia.
 - Aparatos fabricados: guardas oclusales nocturnas, retenedores, acetatos para blanqueamiento dental, bandas molares personalizadas, expansores palatinos, arcos linguales entre otros aparatos de uso común.
 - Método de fabricación: los archivos STL exportados se transfieren directamente a una impresora 3D para modelos de resina. Los aparatos metálicos se fabrican con sinterizado láser mediante la técnica de colado por centrifugación en cera, tras imprimir el modelo en resina moldeable.

1.3.2. Paquetes de *software* para modelos digitales de estudios dentales

Hoy en día existen varios programas informáticos. Normalmente se adquieren con funciones básicas, pero pueden añadirse otras capacidades con compras adicionales. A continuación, se indican algunos de los más utilizados.

– *Software* CAM inLab

Las aplicaciones CAD y CAM del *software* inLab 22.0 de Dentsply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU., permiten la manipulación completa de modelos de estudio digitales y, aparte del módulo básico, puede solicitarse con tres módulos adicionales: módulo de implantología, módulo de removibles y módulo de interfaz.

- Maestro 3D

Maestro 3D de AGE Solutions S.r.l., Pontedera PI, Italia, permite la observación de modelos de estudio con o sin la creación de bases virtuales. El análisis y las mediciones oclusales en 3D pueden realizarse en los tres planos.

- Arch Base®

Arch Base® de Deltaface, Coruo, Limoges, Francia, similar a los *softwares* antes mencionados, permite la creación de módulos dentales en 3D.

- Modelador 3Shape

Se accede a Model Maker desde la plataforma 3Shape Unite, 3Shape, Copenhague, Dinamarca. El *software* se puede utilizar con los escáneres 3Shape.

- Planmeca Romexis®

Planmeca proporciona su propio *software* para la manipulación del modelo de estudio digital a través de su módulo CAD/CAM.

- Geomagic®

Geomagic® de 3Dental Systems, Research Triangle Park, NC, EE. UU. ofrece una plataforma de *software* abierta para su uso en aplicaciones dentales.

- Dexis™

Dexis™ Dental Imaging, Alpharetta, GA, EE. UU. ofrece CS Model y CS Model+, este último con funciones adicionales como la segmentación automática.

- O3D

El *software* de ortodoncia O3D de Orchestrate Orthodontic Technologies, LA, EE. UU. permite archivar de forma sencilla modelos digitales para el diagnóstico y el diseño de aparatos.

1.3.3. Integración del *software* de ortodoncia con la impresora 3D

Una vez obtenidos los modelos 3D deseados en formato STL, los archivos se envían a una impresora 3D para su ejecución.

Después de haber conseguido la impresión digital, se importa en un *software* de creación de modelos 3D, ya que los escaneados obtenidos no son reconocidos por una impresora 3D. El *software* convierte la imagen lograda en un objeto imprimible en 3D. Tradicionalmente se utilizaba para ello Meshmixer de Autodesk Inc., San Rafael, CA, EE. UU., por ser un *software* abierto, pero hoy en día hay muchos más programas disponibles.

Los materiales más utilizados para la impresión 3D son la resina y el metal. En el caso de este último, el método más utilizado es el sinterizado por láser. La vía digital puede invertirse a una más convencional si los modelos digitales se utilizan como modelos de trabajo y los proveedores funden los aparatos con la técnica de colado por centrifugación de cera, más habitual antes de la era digital.

El usuario tiene acceso a varios programas informáticos que permiten manipular los modelos digitales para posibilitar la producción. Los que figuran a continuación, ordenados alfabéticamente, son algunos de los más utilizados:

1.3.3.1. 3D Builder

3D Builder de Microsoft Inc., Redmond, WA, EE. UU., es una aplicación gratuita para Windows que permite ver, capturar, modificar e imprimir modelos 3D.

1.3.3.2. Clincheck

Los modelos dentales pueden imprimirse en 3D a partir de archivos STL exportados desde Invisalign Inc., San José, CA, EE. UU.

1.3.3.3. Easy Rx 3D

Easy Rx 3D de EasyRx® Inc., Atlanta, GA, EE. UU., es un *software* basado en la nube similar a otros programas informáticos que permite al usuario modificar los moldes y prepararlos para cualquier impresora 3D. Se considera un sistema muy pedagógico y fácil de usar.

1.3.3.4. Elemetrix™

Este *software* basado en la nube de Suresmile® by DentsplySirona Inc., Charlotte, NC, EE. UU., permite realizar diagnósticos, facilitar sistemas de adhesión indirectos de *brackets* y diseñar alineadores. También puede integrarse con escaneados e imágenes CBCT. Los archivos STL finales pueden exportarse y cargarse en la impresora 3D para la fabricación de aparatos.

1.3.3.5. Exceed®

eXceed by Exceed®, Witten, Renania del Norte-Westfalia, Alemania, ofrece un plan de oficina y un plan premium. El primero está dirigido principalmente a consultas individuales para fabricar sus propios alineadores, mientras que el segundo se diseñó para empresas más grandes que desean personalizar los alineadores para sus clientes.

1.3.3.6. Meshmixer

Meshmixer de Autodesk Inc., San Francisco, CA, EE. UU., es un *software* fácil de descargar y sin cuotas asociadas que permite al usuario manipular libremente los archivos STL. Los modelos totalmente escaneados y analizados pueden prepararse para la impresión 3D.

1.3.3.7. Orquestar 3D O3D™

Orchestrate 3D™ y O3D™ son marcas registradas de Orchestrate Orthodontics Technologies, LLC, por Park Dental Research Corporation, Ardmore, OK, USA.

Orchestrate 3D Treatment Planning *Software* (O3D) y Orchestrate 3D Treatment Planning *Software* for Enterprise/Lab permiten una manipulación similar a la de otros programas mencionados y facilitan la impresión en 3D. El primero está destinado a los médicos que deseen una solución digital, mientras que el segundo se dirige a proveedores y laboratorios que necesiten un mayor nivel de producción. La versión disponible para 2024 es la número 7.

1.3.3.8. Ortho Analyzer™

El *software* Ortho Analyzer™ está disponible en 3Shape, Copenhague, Dinamarca. Ofrece una serie de funciones para modelos digitales en 3D y planificación digital del tratamiento.

1.4. Fase de ejecución

La fase de ejecución es la fabricación física de los dispositivos que se pretenden elaborar para cada paciente.

Los tipos de impresoras 3D más utilizados en ortodoncia son los siguientes:

- Procesamiento directo de la luz (DLP, por sus siglas en inglés).
- Modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés).
- Fotopolímero por flujo de polietileno (PPP, por sus siglas en inglés).
- Sinterización selectiva por láser (SLS, por sus siglas en inglés).
- Estereolitografía (SLA, por sus siglas en inglés).

SLA y FDM siguen siendo los dos tipos más utilizados; sin embargo, el método de impresión elegido depende a su vez de factores dependientes del operador y los relacionados con la impresora:

- (A) Factores relacionados con el operador
 - Elección y preferencia del operador.
 - Uso previsto.
 - Aplicación prevista.
 - Formación actualizada.
- (B) Factores relacionados con la impresora.
 - Costos
 - Limitaciones de espacio físico.
 - Limitaciones/restricciones del *software*.
 - Velocidad de impresión.
 - Precisión.

La impresión 3D es un aspecto muy importante de la ortodoncia digital y se abordará de forma mucho más detallada en los capítulos siguientes.