

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

Valparaíso – Chile

**“ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE
IMPRESORAS 3D PARA LABORATORIO
DENTAL EN CHILE”**

Trabajo de investigación presentado por

MARTÍN HUMBERTO SEPÚLVEDA LEYTON

Como requisito para optar al título de

INGENIERO COMERCIAL

Profesor guía: Carlos Humberto Soto Yáñez

Marzo 2024

1 Resumen ejecutivo

A lo largo de los años se ha visto un avance exponencial en el desarrollo de nuevas tecnologías, principalmente en la impresión 3D, sin duda que, en muchas áreas esto ha demostrado un gran impacto tanto en campañas de marketing, cambios en cadenas globales de suministros y la versatilidad de su uso.

Principalmente donde mayor relevancia y valor nos entrega la impresión 3D es en piezas o productos altamente específicos y personalizados, donde las áreas de medicina, odontología y laboratorio dental han presentado mayor interés por su individualización y utilidad, dónde incluso en la actualidad ya existen impresiones finales con resinas dentales funcionales y certificadas listas para su colocación.

El propósito de la siguiente investigación es recabar información para evaluar la situación actual del avance de la impresión 3D tanto en aspectos clínicos como del laboratorio o para quienes se interesen o deseen emprender con esta tecnología con el objetivo de evaluar crítica y objetivamente estas nuevas innovaciones.

Específicamente se comparará la tecnología actual del fresado manual o convencional utilizando al laboratorio dental “HUMSEAL” junto con la implementación de la impresión 3D, con el objetivo de comparar variados supuestos de interés en términos de prefactibilidad, inversión, calidad de los resultados, durabilidad y múltiples aspectos relevantes para los profesionales dedicados al rubro del laboratorio dental.

Palabras clave: Impresión 3D, odontología, laboratorio dental, innovación

2 Abstract

Over the years it has been seen an exponential advance in the development of new technologies, mainly in 3D printing, without a doubt that in many areas this has shown a great impact both in marketing campaigns, changes in global supply chains and the versatility of its use.

Mainly where 3D printing gives us greater relevance and value is in highly specific and personalized pieces or products, where the areas of medicine, dentistry and dental laboratory have presented greater interest for their individualization and usefulness, where even today there are already final impressions with functional and certified dental resins ready for placement.

The purpose of the following research is to gather information to evaluate the current situation of the progress of 3D printing both in clinical and laboratory aspects or for those who are interested or wish to undertake with this technology to evaluate these new innovations critically and objectively.

Specifically, the current technology of manual or conventional milling using the dental laboratory "HUMSEAL" will be compared together with the implementation of 3D printing, with the aim of comparing various assumptions of interest in terms of prefeasibility, investment, quality of results, durability and multiple relevant aspects for professionals dedicated to the field of dental laboratory.

Keywords: 3D printing, dentistry, dental laboratory, innovation.

	Índice
1 Resumen ejecutivo	2
2 Abstract	3
3 Presentación	9
3.1 Problema de investigación	9
3.1.1 Objetivo General	11
3.1.2 Metodología	11
3.1.3 Objetivos específicos.....	11
3.1.4 Resultados Esperados	12
4 Introducción	13
4.1 Historia de la impresión 3D	13
4.2 Actualidad	15
4.3 Desarrollo de la industria 3D	17
4.3.1 Arquitectura.....	17
4.3.2 Automotriz	17
4.3.3 Aviación	17
4.3.4 Deportes	18
4.3.5 Educación.....	18
4.3.6 Medicina.....	19
4.3.7 Odontología.....	21
4.4 Limitaciones generales.....	23
4.4.1 Inversión.....	23
4.4.2 Tiempos.....	23
4.4.3 Materiales.....	23
4.4.4 Costos	24
4.4.5 Diseño	25
4.5 Peligros.....	26
4.5.1 Toxicidad.....	26
4.5.2 Medio ambiente.....	26
4.5.3 Propiedad intelectual	26
4.6 Análisis de mercado de impresión 3D.....	28
4.6.1 Reporte Gartner	28
4.6.2 Reporte Wohlers.....	31

4.6.3	Reporte Hubs.....	32
4.7	Análisis de mercado en impresoras 3D dentales	33
4.7.1	Reporte Grand View Research.....	33
4.7.2	Reporte Market and Markets.....	34
4.7.3	Análisis de la Industria de Impresión 3D Dental en América Latina.....	35
5	Lenguaje de diseño e impresión 3D	36
5.1	CAD/CAM	36
5.2	Cursos de odontología digital.....	37
6	Software para impresoras dentales 3D	38
6.1	Software CAD pagos.....	38
6.2	Tercerización de diseño.....	39
6.3	Softwares “Pay-Per-Case”	39
6.4	Softwares gratuitos más reconocidos	40
7	Tecnologías de Impresoras dentales 3D	41
7.1	Fotopolimerización o Polimerización VAT	41
7.1.1	Estereolitografía (SLA).....	42
7.1.2	Procesamiento digital de luz (DLP)	42
7.1.3	Liquid crystal display (LCD)	42
7.2	Extrusión de material	43
7.2.1	Modelado por deposición fundida (FDM).....	43
7.3	Fusión en lecho de polvo.....	44
7.3.1	Sintetizado selectivo por láser (SLS)	44
7.4	Inyección de material	45
7.4.1	PolyJet (MJ)	45
7.5	Principales actores de Impresión Dental 3D	46
8	Materiales de impresión 3D dental.....	47
8.1	Resinas	47
8.2	Otros materiales.....	48
9	Aplicaciones Impresión 3D Dental	49
9.1	Guías quirúrgicas.....	50
9.2	Implantes dentales	50
9.3	Coronas y puentes dentales	50
9.4	Prótesis metálicas	50

9.5	Prótesis acrílicas	50
9.6	Patrones de fundición	51
9.7	Alineadores y retenedores	51
10	Tamaños de empresas en Chile	52
10.1	Criterios	52
10.1.1	Microempresa	52
10.1.2	Pequeña y Mediana empresa	52
11	Laboratorio Dental con Impresora 3D.....	53
11.1	Escáneres 3D.....	53
11.2	Implantología	55
11.2.1	Guías quirúrgicas.....	55
11.3	Prostodoncia.....	57
11.3.1	Modelos dentales.....	57
11.3.2	Prótesis fijas y removibles (parcial o completa).....	58
11.3.3	Patrones de fundición	59
11.3.4	Coronas y puentes	60
11.4	Ortodoncia.....	61
11.4.1	Alineadores y retenedores	61
12	Proveedores Tecnología 3D en Chile.....	63
12.1	Formlabs Form3B+	63
12.1.1	FormWash	65
12.1.2	FormCure	65
12.1.3	Materiales Formlabs	66
12.1.4	Procesos productivos y costos	68
12.1.5	Proveedor en Chile de Formlabs	69
12.2	Phrozen Sonic 4K mini	70
12.2.1	Creality UW-02	72
12.2.2	Materiales Phrozen y Prizma.....	73
12.2.3	Procesos productivos y costos	75
12.2.4	Proveedor en Chile de Phrozen y Prizma	75
12.3	Anycubic Photon Mono M5s – 12K.....	76
12.3.1	Anycubic Wash & Cure 2.0	78
12.3.2	Materiales Anycubic y Keysplint.....	79

12.3.3	Procesos productivos y costos.....	80
12.3.4	Proveedor en Chile de Anycubic.....	81
12.4	Materiales indispensables.....	82
12.4.1	Alcohol isopropílico (IPA).....	82
12.4.2	Equipo de post curado	82
12.4.3	Pantallas LCD	82
12.4.4	Instrumentos adicionales	82
12.5	Otras empresas distribuidoras de insumos 3D en Chile	83
13	Método convencional	84
13.1	Caso práctico “Micro Laboratorio Dental HUMSEAL”	84
13.2	Contexto	84
13.3	Prótesis dentales acrílicas.....	85
13.4	Prótesis dentales metálicas	87
13.5	Resumen costos, tiempo e inversión	89
13.6	Costos comparativos	91
13.7	Ejemplo Caso Práctico Payback.....	92
13.8	Análisis Caso Práctico.....	93
13.8.1	Modelos dentales.....	93
13.8.2	Patrones de fundición	93
13.8.3	Restauraciones temporales o permanentes dentales	93
13.8.4	Prótesis acrílicas.....	93
14	Análisis.....	94
14.1	Precio.....	96
14.1.1	Escáner 3D	96
14.1.2	Software	96
14.1.3	Impresora.....	96
14.1.4	Post curado	97
14.1.5	Materiales	98
14.1.6	Capacitación	98
14.2	Aspectos técnicos	99
14.2.1	Operación	99
14.2.2	Conectividad.....	99
14.2.3	Tiempos.....	99

14.2.4	Volumen de impresión	100
14.3	Accesibilidad.....	101
14.4	Funcionalidad de la odontología digital	102
14.4.1	Almacenamiento digital	102
14.4.2	Aumento de demanda ante apertura a la industria odontológica digital.....	102
14.4.3	Eficiencia en tiempo de prototipado.....	102
14.4.4	Menos contaminante y más comodidades	102
14.4.5	Menos viajes paciente-dentista-laboratorio.....	103
14.4.6	Mayor prestigio para la clínica	103
14.4.7	Menores costos y accesibilidad para los pacientes.....	103
15	Conclusiones	104
15.1	Análisis de objetivos específicos.....	104
16	Recomendaciones.....	108
17	Referencias.....	109
18	Anexos.....	113

Índice de figuras

Figura 1.	Curva de maduración tecnológica Gartner 2014	29
Figura 2.	Curva de maduración tecnológica Gartner 2019	30
Figura 3.	Resultados Reporte Wohlers de ganancias de manufactura aditiva	31
Figura 4.	Tecnología de impresión 3D de Fotopolimerización.....	41
Figura 5.	Tecnología de impresión 3D de Extrusión de material.....	43
Figura 6.	Tecnología de impresión 3D de Fusión de lecho en polvo	44
Figura 7.	Tecnología de impresión 3D de Inyección de material.....	45
Figura 9.	Información de preparación de impresión Preform.....	69
Figura 10.	Información de operación de impresión Photon Mono 5S – 12K.....	80
Figura 11.	Ejemplo de tamaño de dimensiones y capacidad en software Chitubox.....	100

3 Presentación

3.1 Problema de investigación

La cuarta revolución tecnológica está en curso desde hace un tiempo. Los nuevos avances más allá de internet o de las tecnologías de información están modificando nuestro estilo de vida, las actividades y los procesos productivos, entre estos, la inteligencia artificial, la robótica, la automatización de vehículos y la impresión en tres dimensiones. Estos han impactado exponencialmente los sistemas de producción, consumo y el mercado laboral, es decir, la fuente de ingresos de la mayoría de las personas a lo largo de todo el mundo.

Eventualmente, el panorama de la automatización y el reemplazo de la acción humana en miles de tareas será protagonizado por máquinas, esto nos conduce a una situación desafiante en múltiples aspectos. Sabemos que no es posible detener el avance la ola tecnológica, o nos sumergimos en la desdicha u observamos esto obligatoriamente como oportunidades que nos incentivan a actualizarnos a la vanguardia del progreso “con la preocupación de lo que ocurrirá con los y las trabajadores de tareas rutinarias en sectores que se verán más afectados por estos cambios, generando desempleo y/o precarización laboral. Asimismo, cabe cuestionarse sobre los cambios necesarios en las políticas de capacitación, reconversión e inserción sociolaboral y los sistemas de protección social ante este nuevo escenario.” (R. Martínez, A. Palma y A. Velásquez, 2020).

Existen muchos avances en la actualidad que están irrumpiendo los procesos productivos, uno de ellos y que se mencionará principalmente es la impresión en tres dimensiones “También llamada “fabricación aditiva”, la impresión 3D consiste en crear un objeto mediante la impresión capa por capa de un modelo o dibujo digital en 3D” (Klaus Schwab, 2016).

Este simple proceso puede abrirnos un océano de posibilidades en incontables áreas de producción, fabricación, de personalización e inclusive de tratamiento médico. Es esta última industria donde las personas requerimos una atención más especializada y esperamos soluciones únicas según nuestras necesidades en el sector de medicina clínica o de laboratorio. No podemos comparar la creación de una figura de acción personalizada al gusto, con un implante dental o incluso una prótesis ortopédica a tu medida, definitivamente no hay punto de comparación.

Hoy, más de 40 años después de la primera aparición de la impresión 3D, hemos presenciado el impacto en múltiples industrias, desde aspectos médicos y las múltiples especialidades existentes de cirugía y regeneración tal como; “La reconstrucción de la cadera, del fémur y la rodilla son otras áreas quirúrgicas que potencialmente se benefician de esta técnica. Los materiales biocompatibles

incluyen metales, cerámicas y polímeros.” (A. César, 2018). Los mismos utilizados hoy en día en el laboratorio dental, el cual nos acontece en esta instancia su análisis.

Según el informe sobre la situación mundial de la salud bucodental “La OMS define la salud bucal como el estado de la boca, los dientes y las estructuras orofaciales que permite individuos para realizar funciones esenciales, como comer, respirar y hablar, y abarca dimensiones psicosociales, como la confianza en uno mismo, el bienestar y la capacidad de socializar y trabajar sin dolor, malestar y vergüenza” (World Health Organization, 2022). Esto junto con las problemáticas socioeconómicas que nos afligen y persiguen a lo largo de todos estos años, sin duda que el impacto en la industria por la inserción de la impresión en tres dimensiones es un tema relativamente nuevo, pero, ya ha generado grandes avances innovadores y promete seguir haciéndolo con el paso del tiempo en su desarrollo, personalización y accesibilidad.

La presente investigación se encargará de realizar un análisis de prefactibilidad de la implementación de la impresión 3D en el mercado laboral actual del laboratorio dental y responder a las inquietudes que muchos laboratoristas están viviendo hace un tiempo, ¿es posible que su trabajo de confección manual y convencional sea reemplazado? ¿Es rentable invertir en esta tecnología? Independiente de tantos avances en la tecnología ¿esta innovación va a poder satisfacer los requerimientos y las necesidades de los pacientes a un precio más accesible?

3.1.1 Objetivo General

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de realizar un análisis de prefactibilidad con el fin exponer los distintos criterios de interés de los profesionales del laboratorio dental de micro, pequeño y mediano tamaño, que aún no implementan la impresión 3D en sus labores en Chile, con el fin de resolver las tres hipótesis iniciales:

3.1.2 Metodología

Para resolver la hipótesis, se realizará una investigación exhaustiva desde la trayectoria de la impresión 3D, sus productos y materiales hasta la vanguardia de nuestro tema de interés. Se analizarán y compararán mediante resultados clínicos, estudios de investigación por distintos organismos proyectando el futuro del mercado. Un análisis de costos de insumos, maquinaria utilizada y los distintos aspectos que faciliten o dificulten el uso de la tecnología de impresión 3D.

3.1.3 Objetivos específicos

- Comprender los principales ventajas y desventajas al implementar impresoras 3D en el laboratorio dental.
- Advertir los riesgos de inversión de las 3 categorías de impresión 3D utilizadas actualmente en el laboratorio dental en Chile.
- Conocer las repercusiones socioeconómicas en los pacientes ante la adopción de la impresión 3D en los nuevos procesos productivos.
- Analizar cuáles son los 3 principales motivos de por qué la impresión 3D aún no reemplaza el método convencional de producción.

3.1.4 Resultados Esperados

A lo largo de la investigación se espera recabar la mayor información objetiva actual de la impresión 3D, una de las invenciones más trascendentales de los últimos años y que sin duda para los profesionales de la salud es fundamental estar actualizados con las innovaciones de la tecnología.

La impresión 3D está revolucionando el mercado y cambiando los paradigmas con la creación de estructuras más complejas y personalizadas como lo es una prótesis dental. No se puede comparar con una prenda de vestir que no sea de nuestra talla a los implantes dentales personalizados y qué más individualizados que nuestra propia estructura bucal.

Sin duda que el desarrollo de esta investigación estará sumergido en variadas dificultades por lo rápido que es el avance tecnológico, a su vez, el análisis de las tecnologías sigue siendo muy novedoso y cada vez aparecen más soluciones a problemáticas que nunca íbamos a imaginar posibles. Desde conocer que una impresora del tamaño de una pequeña estantería pueda ofrecer a una población crear sonrisas donde antes no las había o inclusive evoluciona hasta la creación supletoria de estructuras óseas, tejidos orgánicos, infraestructuras, puentes, entre millones de posibilidades que nos permite la creatividad y el estudio de nuevos materiales para su efectividad.

La investigación se dedicará a encontrar resultados y analizar criterios objetivos para los profesionales de la salud, laboratoristas dentales o a inversionistas de esta innovación, que muchos ya han elegido y capacitado a estos nuevos procesos. El resultado que se espera es exponer la vanguardia de la tecnología, y resultar de guía para los profesionales e inversores en el laboratorio dental sobre la impresión en tres dimensiones.

4 Introducción

4.1 Historia de la impresión 3D

“También llamada “fabricación aditiva”, la impresión 3D consiste en crear un objeto físico mediante la impresión capa por capa de un modelo o dibujo digital en 3D. Esto es lo contrario de la fabricación sustractiva, que es la forma en que se han hecho las cosas hasta ahora, sustrayendo capas de una porción de material hasta obtener la forma deseada.” (Klaus Schwab, 2016).

Hace más de 40 años que la impresión 3D está generando cambios en las cadenas de suministros con diferentes tecnologías e hitos que han marcado un antes de un después en la forma en que la tecnología ha evolucionado y lo sigue haciendo.

Todo comenzó en la década de 1980 donde Hideo Kodama, diseñador de automóviles e investigador del Instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya, Japón, fue la primera persona en publicar sus resultados y expone la reseña donde inventa dos métodos de fabricación AM (Ad Manufacturing) de un modelo de plástico tridimensional con un polímero foto endurecible.

No es hasta los años 1984-1986 que “Chuck Hull, ingeniero y más tarde director tecnológico de 3D Systems, que presenta esta patente con un proceso llamado estereolitografía (SLA siglas en inglés), conocida también como fabricación óptica o foto-solidificación.” (Catañeda, 2022).

Esto realizado gracias al uso del “software de diseño asistido por ordenador, mayormente conocido por las siglas CAD que provienen del inglés Computer-Aided Design, es un software para crear y editar modelos bidimensionales y tridimensionales de objetos físicos. Aunque también puede encontrarse como CADD, Computer-Aided Design & Drafting” (Integral Innovation Experts, 2019).

En 1992 se desarrolló la primera máquina de impresión 3D de tipo SLA la que consistía en “un láser ultravioleta que iba solidificando un polímero capa por capa para crear objetos tridimensionales. A pesar de que no eran piezas muy perfectas, hacía pensar en el gran potencial que podía ofrecer este tipo de máquinas.” (Roberto Adeva, 2023) Fue obra de la compañía 3D Systems, una de las empresas pioneras en el rubro y que presenta gran parte del mercado actualmente, la cual se mencionará en mayor detalle a lo largo de la investigación.

En 1999 se comenzó a utilizar en el campo de la medicina, esta se podía usar en un recubrimiento sintético a partir de células del paciente y con esto dar solución a determinados órganos. Éste fue un momento clave en la historia de la impresión 3D.

En 2004, se funda el proyecto RepRap, “es una iniciativa creada con el propósito de crear una máquina de prototipado rápido libre que sea capaz de replicarse a sí misma. Una máquina de este tipo puede fabricar objetos físicos partir de modelos generados por ordenador.” (RepRap.org, 2020). En 2008 logró fabricar una impresora 3D por sí misma, prácticamente todos sus componentes.

Para 2009 ocurrió el lanzamiento de la empresa Makerbot que ante el éxito de RepRap la empresa ofrecía kits para armar tu propia impresora y que en la actualidad “es una plataforma Chromebook compatible con el navegador que conecta las impresoras 3D en red, la cuenta Thingiverse, los pedidos y los casos de soporte en un solo lugar. Ofrece a los usuarios la posibilidad de cargar y preparar archivos, imprimir y luego supervisar su progreso desde cualquier dispositivo, en cualquier lugar” (Integral 3D Printing, 2022). Junto con el enfoque educacional, otorga programas a escuelas de sus productos, para que docentes estén capacitados y puedan apoyar de mejor manera con otros recursos las habilidades de los infantes en su proceso de aprendizaje.

Podemos analizar a lo largo de las décadas que el desarrollo ha sido muy rápido, gracias también a la colaboración de código abierto y el desarrollo de patentes y del interés que genera esta tecnología, “tanto es así que entre 1984 y 2011 se vendieron en el mundo 45.000 impresoras 3D y luego sólo en 2012 se vendieron el mismo número en un solo año.” (Mariano Bucco, 2016).

En febrero de 2014 pasó a dominio público las patentes clave relacionadas con la impresión tridimensional de más alto rendimiento comercial, las basadas en tecnología de sinterización láser selectiva (SLS), que prontamente será mencionada más en detalle. Al pasar a dominio público y de libre utilización, evidentemente que “ofrece mayores reducciones de costes, también una liberación del poder innovador que debería traducirse en un mayor número de solicitudes de patentes fruto de estas investigaciones “low cost”. El incremento en el número de patentes se refuerza por el hecho de que la impresión 3D permitirá una fácil reproducción y los derechos de propiedad industrial serán una herramienta fundamental contra la copia.” (Naranjo, 2013).

Este gran suceso generó una gran ola de nuevas empresas como personas naturales que lo veían como algo lúdico, comenzaron a practicar y conocer más allá de las capacidades de la impresión 3D. 2014 fue el año dorado para la tecnología de impresión 3D, desde grandes avances y desarrollos que actualmente siguen ocurriendo con una rapidez asombrosa.

4.2 Actualidad

Casi 40 años han transcurrido luego de la primera máquina de impresión 3D e independiente del tiempo se sigue sintiendo como una nueva tecnología, esto por el resultado de los múltiples avances que estamos viviendo hoy en día por todo el mundo y las nuevas innovaciones que se van desarrollando en las variadas áreas que se mencionarán.

Hitos importantes de la última década hay muchos, a escala nacional como internacional, los distintos desarrollos en innovaciones después de la liberación de las patentes en 2014. Tanto fue el impacto que el expresidente Barack Obama elogia la impresión 3D: “el potencial de revolucionar la forma en que hacemos casi todo». El mismo año, The Big Bang Theory presenta un episodio que involucra la fabricación aditiva. La impresión 3D ya está en la boca de todo el mundo” (Matus, 2018).

Tanto fue la masificación de esta tecnología y más las colaboraciones de código abierto (Open-Source) que permitía estar conectados en la red compartiendo conocimientos, inventos, productos o simplemente una red para perfeccionar prototipos tanto para juguetes como de artículos de variada índole, sin embargo, existen excepciones. “Se creó la primera pistola impresa en 3D, la llamada “The Liiberator”, aparece en Internet el primer archivo CAD, que se convirtió en viral con más de 100.000 descargas en sólo 2 días.” (impresoras3d.com, 2023).

Desde juguetes hasta en el espacio exterior, “El experimento 3D Printing In Zero-G Technology Demonstration (Impresión 3D en gravedad cero) demuestra que una impresora 3D funciona con normalidad en el espacio.” (impresoras3d.com, 2023). Un importante evento realizado por la NASA demostrando la utilidad y la libertad en la imaginación a fronteras que aún no conocemos, como la capacidad de reparar gracias a una impresora 3D en la misma nave, las mismas piezas que necesita, esto facilita y nos ahorra en distribución, transporte y en innumerables practicidades, demostrando que el avance y desarrollo de materiales es fundamental con visión a los nuevos avances y obtener la calidad en los resultados.

Avances en medicina como “La regeneración de tejidos relativamente delgados como la piel ha sido exitosa, pero aún quedan desafíos para la regeneración de tejidos gruesos y órganos complejos debido a la dificultad de satisfacer las necesidades metabólicas e imitar tejidos complejos” (Young-Joon Seol, Tae-Yun Kang, Dong-Woo Cho, 2012) o cómo “Un grupo de científicos del Trinity College de Dublín desarrolla implantes óseos impresos en 3D con el potencial de arreglar lesiones graves y defectos óseos, en lugar de utilizar dolorosos injertos óseos” (impresoras3d.com, 2023)

En 2017 el antes mencionado “RepRap” fue votado como el “objeto más significativo” y fue incluido en el Salón de la Fama de la Impresión 3D, el cual formó parte del desarrollo de la primera casa habitable impresa en 3D, la cual, “Una familia francesa se ha convertido en la primera del mundo en mudarse a una casa impresa en 3D. La vivienda, de cuatro dormitorios, es un prototipo para proyectos de mayor envergadura destinados a agilizar y abaratar la construcción” (Cowan, 2018)

Por mencionar, ante la emergencia sanitaria que nos sumergimos del COVID-19, las impresoras 3D tomaron protagonismo en la fabricación de máscaras y equipos de protección individual. Gran parte de los materiales utilizados hoy en día son el plástico, metales y principalmente cualquier material que logre tener las características en polvo para el modelamiento y procesamiento de las impresoras en tres dimensiones.

4.3 Desarrollo de la industria 3D

4.3.1 Arquitectura

La posibilidad de utilizar distintos materiales reciclados y orgánicos para la construcción, como la arcilla o plástico facilita la creación de prototipos sin costo adicional y sin necesidad de herramientas, moldes o matrices. Esto contrasta con el método convencional de producción masiva, que complica la personalización de las estructuras. Sin embargo, la impresión 3D rompe este esquema y permite a arquitectos crear partes únicas con mayor personalización en sus diseños.

“Otra ventaja es su capacidad para crear formas inspiradas en la geometría de la naturaleza, lo que puede ser difícil de producir con otros métodos de construcción. Al construir capa por capa, la impresión 3D refleja los procesos naturales como la formación de conchas. Los marcos estructurales inspirados en la fina estructura de los huesos de los pájaros podrían crear una estructura ligera de tubos con diferentes tamaños que reflejan las fuerzas que actúan sobre ellos. Además, las fachadas que evocan formas de hojas de plantas podrían diseñarse para proporcionar sombra al edificio y producir energía solar al mismo tiempo” (Cuaresma, 2023).

4.3.2 Automotriz

Desde figuras de acción, hasta producción en serie protagonizada por impresoras 3D. “Goodyear está probando su nueva tecnología de neumáticos sin aire impresos en 3D en los coches eléctricos de Tesla. Aunque esta tecnología presenta múltiples ventajas, los altos costes de inversión y la escasez de personal cualificado hace que no se extienda a otras industrias” (Vega, 2022).

Diferentes autores se han interesado en esta tecnología, pero siguen muchos escépticos del impacto que pueda generar en las distintas áreas de otras industrias. Evidentemente que avances han ocurrido e hitos han marcado tendencia en la manera que vemos la producción y fabricación de muchos productos, complementos o personalizaciones. Estas diferencias entre expertos se demostrarán y analizarán con mayor detalle.

4.3.3 Aviación

“Boeing usa la impresión 3D para fabricar más de 22.000 piezas de sus aviones civiles y militares. Prácticamente cada día aparece publicado una nueva utilidad de la impresión 3D.” (Replicante Legal, 2015). En 2015 ya era un gran éxito y de gran utilidad para la fabricación de piezas, por otro lado, existía una gran limitación en cuanto a costos y las piezas eran demasiado pequeñas para albergar aplicaciones industriales a gran escala.

Menos de 10 años tuvieron que pasar para que la fabricación aditiva se transformara en una industria plenamente desarrollada. Esto incluye una extraordinaria flexibilidad de diseño y

compatibilidad material-impresora, softwares cada vez más especializados y nuevos materiales más sofisticados que potencian la calidad de sus resultados. Además, se ha desarrollado maquinaria 3D a gran escala con grandes volúmenes de construcción y capacidad para producir piezas más ligeras. “La reducción de peso (aligeramiento) permite a los aviones volar más rápido, más lejos y con menos consumo de combustible. Cada 500 kg de reducción de peso se traduce en un 1% menos de consumo de combustible, lo que también supone una menor emisión de dióxido de carbono” (Filament2print, 2022).

4.3.4 Deportes

Desde atletas profesionales hasta deportistas amateurs, la impresión 3D posee la ventaja de que cada vez es más accesible y está presente en cualquier hogar. Esto otorga un mundo de posibilidades, como la creación de zapatos personalizados, formas geométricas complejas, protecciones corporales ajustadas en base a datos biomecánicos y personalizados, personalización de prototipos multicolor y múltiples materiales de prueba.

Son innumerables los beneficios que hoy la industria de los atletas está desarrollando, optimizando su rendimiento e incluso cuidando al medio ambiente. Existe una empresa llamada “Wyve”: “la empresa afirma que producen las tablas de surf a partir de residuos plásticos reciclados que, mediante las tecnologías 3D ofrecen al usuario una solución óptima y resistente. Una original forma de combinar ecología e innovación en un mismo proyecto.” (Wyve, 2023).

4.3.5 Educación

“La impresión 3D se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar el proceso de aprendizaje de escolares, aprendices, estudiantes universitarios, investigadores y profesores. La tecnología perfecciona las habilidades creativas y prácticas, da vida a conceptos, teorías y proporciona un entorno de aprendizaje activo.” (Dassault Systems, 2020).

Existen distintos beneficios en la aplicación de la impresión 3D en etapas de educación, primaria secundaria o superior, algunos de estos son:

- Diseño y creatividad.
- Resolución de problemas.
- Dar vida a ideas teóricas.
- Pensamiento crítico e investigación.
- Introducir a los estudiantes en los procesos de fabricación moderno.
- Preparar a los estudiantes para el futuro lugar de trabajo y las carreras profesionales.
- Producir materiales didácticos asequibles y totalmente personalizables.

Además de los beneficios y capacidades, el ahorro de costos es vital para las escuelas o espacios de educación, conforme al 4 objetivo de los ODS, “Educación de calidad” una de las metas es “Para 2030, aumentar sustancialmente el número de jóvenes y adultos que tienen habilidades relevantes, incluidas habilidades técnicas y vocacionales, para el empleo, los trabajos decentes y el espíritu empresarial.” (PNUD, 2015).

La impresión 3D está entregando aportes a la industria educativa con impresoras más accesibles, materiales cada vez más prácticos, empresas dedicadas al servicio de la enseñanza de docentes y alumnos, creación de bienes personalizados con funciones educativas útiles para las generaciones actuales y próximas. Sin más, la utilización de recursos tecnológicos ha demostrado ser un gran aliado para la educación en múltiples aspectos de la formación escolar y profesional.

4.3.6 Medicina

El término "impresión 3D" fue introducido en el año 2015 por el MeSH (Medical Subject Headings). A lo largo de los años, la tecnología ha sido utilizada para refinar el enfoque terapéutico antes de ingresar al quirófano, aportando múltiples beneficios físicos, espaciales y táctiles para estudiantes en sus primeras experiencias con modelos más realistas impresos en 3D. Útil para reducir el tiempo en el quirófano, aumentando así la preparación y la confianza de los profesionales. Las impresoras 3D son capaces de imprimir una amplia variedad de estructuras, desde tejidos blandos, desde músculos hasta cartílago y hueso en un solo trabajo.

La mejora en distintos materiales puede optimizar los resultados y facilitar el proceso de análisis. Actualmente ya existen materiales que replican las estructuras del cuerpo humano incluso con una textura similar con materiales transparentes o translucidos sin obstrucciones de tejidos y vasos sanguíneos ocultos.

Tanto para quienes están en una etapa inicial de la industria como para doctores y especialistas en las múltiples áreas del quirófano, se han visto resultados muy favorables en las labores de cirugía. Entre estos resultados, se incluye el uso de materiales esterilizables y biocompatibles personalizados según las características únicas del paciente, guías quirúrgicas para cortes más precisos preparados antes de la operación, la fabricación de implantes y prótesis hechos a medida con un prototipado mucho más efectivo y en menor tiempo.

El método tradicional de análisis en enseñanza, como de preparación para cirujanos, tiene variados inconvenientes, por ejemplo:

- La complejidad del cuerpo humano y las características altamente variables no tienen comparación con el tipo de enseñanza mediante maniquíes médicos comunes, que solo representan la anatomía humana promedio.
- La experiencia en animales es similar a la experiencia clínica humana y sigue siendo muy costosa.
- Los cadáveres utilizados para su estudio, aunque anatómicamente sea más preciso que un maniquí, no retiene las características del tejido vivo.

Hace un tiempo, las prácticas de enseñanza se basaban únicamente en escáneres en 2D o la utilización de representaciones promedio de la anatomía humana o también en clínica con análisis invasivos para el paciente.

Como es sabido, un médico debe preservar y conservar su ética profesional en velar por la recolección de información y aprendizaje continuo de la vanguardia tecnológica, donde la impresión 3D toma protagonismo.

Entonces, “eludir los pasos de fabricación tradicionales que hacen costosos los modelos de capacitación médica, la impresión 3D de múltiples materiales puede crear modelos realistas, precisos y versátiles en menos tiempo y a una fracción del costo, imprimiendo todas las características necesarias para transmitir los conceptos clave, incluidos los detalles visuales y táctiles sutiles. Utilizando datos reales del paciente, imprime modelos médicos en 3D que demuestran de manera efectiva las características físicas de la patología específica. Debido a que se pueden imprimir en 3D directamente a partir de archivos de imagen y procesamiento CAD, los modelos pueden diseñarse en un solo lugar, almacenarse digitalmente e imprimirse prácticamente en cualquier lugar para agilizar la entrega y evitar daños durante el tránsito” (Ulloa, 2018)

4.3.7 Odontología

La impresión 3D está transformando las formas tradicionales de tratamiento dental, ya que diversas tecnologías mejoran el rendimiento, la calidad y la comodidad de las técnicas convencionales e incluso prometen superarlas.

La tecnología es complementada y combinada con un sistema de escaneo intraoral 3D. “Este aparato se basa, a grandes rasgos, en un monitor que recrea la boca del paciente y en un lápiz que cuenta con una cámara incorporada.” (Dra. Patricia Bratos, 2019) permite almacenar información en el ordenador, realizar diseños necesarios y prototipar la cavidad oral mediante el software CAD.

Básicamente son 3 procesos que se llevan a cabo en la odontología digital:

“Escaneado: El odontólogo obtiene una impresión digital de la anatomía bucal a través de un escáner intraoral. También puede utilizar otros estudios digitales, según el caso clínico.

Procesamiento de datos: La información obtenida durante el escaneado es enviada al ordenador para utilizarla con un software específico. De esta manera, se puede estudiar el caso de forma detallada y diseñar con precisión el elemento que se desea imprimir.

Impresión 3D: El diseño se envía a la impresora, que procederá a fabricar un prototipo igual al planificado. La producción se realiza de manera progresiva, incorporando capas del material elegido.” (Buffa, 2023).

Estos simples procesos son realizados frecuentemente para variados diseños y objetos específicos y exactos, además los múltiples materiales permiten ampliar su utilidad a varios campos odontológicos:

- Modelos dentales del paciente.
- Férulas para cirugía guiada.
- Puentes, prótesis y coronas.
- Ortodoncia digital o alineadores.
- Cubetas, componentes de prótesis, férulas de descarga, etc.

Otorga mayor precisión, rapidez y comodidad. Múltiples ventajas entregan la impresión la fabricación aditiva en odontología, como:

- Menor número de visitas odontológicas.
- Comodidad.
- Rentabilidad.
- Menor precio.
- Mayor prestigio de la clínica.
- Menos contaminación.
- Mayor precisión.

Sin duda, en distintos casos es factible y rentable la decisión de invertir en una impresora 3D, en otros casos puede resultar un dolor de cabeza y es inviable su implementación. Existen muchas marcas, modelos, materiales y empresas que ofrecen capacitación de la tecnología.

4.4 Limitaciones generales

La impresión 3D no es para todos. A pesar de que la licencia de desarrollo se presentó hace casi 10 años, todavía existe mucho desconocimiento tanto sobre las ventajas como sobre las principales limitaciones que se explicarán a continuación:

4.4.1 Inversión

Aunque los precios de las impresoras 3D han disminuido considerablemente en estos 10 últimos años de desarrollo, todavía es una tecnología nueva y de variados valores según modelos o marcas. Dependiendo de la calidad de los resultados que se busquen, los valores tienden a aumentar en su consecuencia. Actualmente, los precios hoy pueden ascender desde menos de \$150.000 CLP (pesos chilenos) y puede llegar a ser mucho más elevados en el caso de maquinaria industrial o especializada como “La BIG 3D-Printer 2156 es una impresora 3D producida por Imprimere AG, un fabricante con sede en Suiza. Utiliza la tecnología de deposición de pasta para producir piezas de concreto utilizando materia prima de pasta.” (aniwaa, 2017) con un valor de mercado de USD \$1,757,000 (más de 1.500 millones de pesos chilenos)

4.4.2 Tiempos

Dependiendo de la complejidad de la pieza a imprimir, la duración del proceso puede variar significativamente. Para ejemplificar, una estructura simple con escasos detalles o especificaciones, como lo puede ser un juguete sencillo, puede demorar horas.

No obstante, resulta muy interesante para crear el prototipo de una maqueta para un edificio en 3D o una prótesis dental única de un paciente, ya que se dispone de la capacidad de reimprimirla las veces que el usuario quiera y perfeccionar los detalles.

Es importante tener en cuenta que la inversión en esta tecnología debe considerar el tipo de negocio o industria en la que se aplique. El tiempo de producción suele ser más lento, y todo depende de la complejidad de la estructura a crear y del tipo de impresora en la que se desee invertir.

Además, para el diseño de estructuras independiente de la industria, se requieren conocimientos de programación y de diseño con softwares específicos de CAD/CAM, estos cursos o capacitaciones pueden ser extensos y claramente es un gran factor que considerar antes de invertir.

4.4.3 Materiales

Cada tipo de impresora trabaja con distintos materiales, esto debe tenerse en consideración para los resultados a obtener. La mayoría de las impresoras más convenientes solamente pueden utilizar un tipo de material a la vez, sin tener que calibrarla o ajustarla.

En gran medida de las impresoras 3D utilizan como material el plástico (Nylon). Sin embargo, si el usuario requiere trabajar con materiales de carácter metálico, se requieren otro tipo de ajustes. Esto puede resultar inicialmente un poco complicado de comprender, ya que implica un enfoque de impresión distinto y un diseño del objeto a crear adaptado a estos materiales metálicos.

Otro punto para considerar es la accesibilidad a los polímeros necesarios para disponer de suministro en la impresora. En algunos lugares, puede ser difícil encontrar estos insumos, lo que puede afectar la accesibilidad y la continuidad en el proceso de impresión.

4.4.4 Costos

4.4.4.1 *Costes de preparación:*

Materiales: Pese al ser bastante accesible los materiales más utilizados, en ocasiones y dependiendo del rubro y resultados de los procesos, la obtención de ciertos tipos de materiales o polímeros tiende a complicarse su acceso y a aumentar su valor de distribución, calidad, etc.

Formación: Pese a que se entregará una breve reseña de la tecnología CAD/CAM, es necesario para un óptimo diseño e impresión en tu puesto de trabajo o en tu hogar, una formación certificada, la cual hoy en día existen muchas ofertas para realizar cursos con este nuevo lenguaje de diseño. Al momento de comenzar, resulta ser uno de los factores más importantes para los usuarios que esperan desempeñar y aprovechar la herramienta a su máxima capacidad de carga.

4.4.4.2 *Costes de impresión:*

Amortización de máquina: Calcular la amortización (o depreciación) donde se asume el desgaste natural del proceso, un cálculo simple donde se divide el coste total del equipo entre las horas de utilización que se supone complete su estado de vida.

Electricidad: Uno de los costes principales a tener en consideración es la factura de la electricidad, muchos de los interesados a invertir en esta tecnología han de asumir largos periodos de proceso y de impresión, estos con una extensa duración por pieza, lo cual traduce a muchas horas o días de funcionamiento de la impresora 3D sin parar, lo cual se ve afectado en las cuentas por pagar de la electricidad, esto puede ser un problema para centros educativos, empresas pequeñas y en los hogares.

Mantenimiento: Costos adicionales para mantener la impresora en perfecto funcionamiento, como el cambio de las pantallas LSD, instrumentos, componentes, etc.

4.4.4.3 *Coste de postproceso:*

Terminación: Luego de la impresión y esperar que se enfríe el producto, viene un proceso de post curado en la mayoría de las ocasiones, luego de ello que se recomienda pulir la pieza con una lima, cuchilla, fresa, o desbardado, para eliminar imperfecciones y repasar bordes etc.

4.4.5 Diseño

El escaso conocimiento de los programas informáticos de dibujo 3D, es un gran factor para tomar en consideración, sino uno de los más importantes, por más que desees buscar una impresora lo suficientemente compleja para realizar los acabados más prolijos, su uso y correcto manejo es fundamental.

No es lo mismo un diseño tradicional a un diseño en 3D, muchos prefieren el trabajo manual antes de que una máquina se encargue de todo, sin embargo, es sorprendente la calidad de los resultados y el nivel de detalle que cada vez están especializando las impresoras en tres dimensiones. Se requiere de conocimientos de diseño digital estructural con softwares, el diseño digital es un mundo más complejo y conlleva nuevas herramientas y con ello, tiempo de aprendizaje, costos de cursos y capacitaciones, etc.

Si no estás dispuesto a profundizar en aprender sobre el diseño en la impresión 3D, no se recomienda invertir en ellas. Por otro lado, los conocimientos en este tipo de herramientas cada vez están ganando más importancia en la impresión como en cualquier otra industria, los importantes avances y los conocimientos están siendo muy bien pagados. Ya está a criterio del profesional su decisión.

4.5 Peligros

La impresión 3D tiene el potencial de ser un invento revolucionario, pero también perturbador y con variados inconvenientes en su libre creación.

4.5.1 Toxicidad

Uno de los principales materiales utilizados en la impresión 3D es el plástico y “recientes investigaciones, han señalado que las impresoras 3D pueden ser tóxicas debido a que las partículas que desprenden al momento de estar trabajando son inhaladas y se quedan en los pulmones.” (doctors, 2022), esto puede resultar tóxico no sólo para el ser humano, sino también para el resto de los seres vivos, producto de malas prácticas y deficiente toma de precaución en las medidas de seguridad.

4.5.2 Medio ambiente

Pese a la variedad de tecnologías de impresoras y nuevos materiales que aparecen cada día, es cierto que, “Las impresoras 3D hacen un «alto consumo de energía», utilizan materiales para la fabricación de objetos con un «alto nivel contaminante» y generan una «dependencia de materiales plásticos» y, por tanto, de los combustibles fósiles y su impacto ambiental” (Muerza, 2015). Por otro lado, al trabajar con productos resinosos, se puede optimizar su utilización al máximo, donde en distintas industrias los residuos con esta tecnología son mínimos.

4.5.3 Propiedad intelectual

El proceso empieza a partir de un archivo digital creado por uno mismo o tomado por otro de los muchos repositorios actualmente públicos en internet. Esto hace dilucidar la magnitud y accesibilidad para cualquier persona de cualquier edad y con cualquier intención, que, con conocimientos básicos de programación CAD pueda realizar.

“La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) es el foro mundial para los servicios, las políticas, la información y la cooperación en materia de propiedad intelectual (P.I.). Su misión es liderar el desarrollo de un sistema internacional de PI equilibrado y eficaz que permita la innovación y la creatividad en beneficio de todos.” (WIPO, 1967)

Su preocupación por las licencias y patentes de la impresión 3D aumentó considerablemente desde el vencimiento de los derechos de patente privada inicial. “Por ejemplo, el Laboratorio de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT) ha desarrollado recientemente una técnica de impresión en 3D que permite imprimir materiales sólidos y líquidos al mismo tiempo utilizando una impresora tridimensional corriente, lo que abre un enorme abanico de aplicaciones para el futuro.” (WIPO, 2017)

La protección mediante la legislación aún es posible, y está justificada porque “el autor de un archivo 3D debe hacer un esfuerzo intelectual personalizado para que el objeto concebido por el autor del prototipo original pueda dar lugar a un objeto impreso” (Alahyne, 2017).

El artículo 7 del acuerdo sobre los ADPIC (Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio) señala: “La protección y la observancia de los derechos de propiedad intelectual deberán contribuir a la promoción de la innovación tecnológica y a la transferencia y difusión de la tecnología, en beneficio recíproco de los productores y de los usuarios de conocimientos tecnológicos y de modo que favorezcan el bienestar social y económico y el equilibrio de derechos y obligaciones” (WTO OMC, 1995). Pese a lo estipulado, sigue siendo un dolor de cabeza para las instituciones que protegen los derechos de autor.

4.5.3.1 *Piratería*

La inmensa cantidad de posibilidades que entrega la impresión 3D abre las puertas a la copia y piratería tanto de bienes y productos reconocidos de distintas marcas. El acceso a través de internet para copiar lo que está disponible plantea amenazas y afecta a varias industrias que se basan en contenido exclusivo, como el cine, la música y cualquier otra área donde la imitación esté protegida por los derechos de autor.

4.5.3.2 *Creación de armas*

De un juguete, a la primera pistola creada con una impresora 3D en su totalidad, “un abogado de la Universidad de Texas ha sido su creador. El arma ha sido construida con 16 piezas de plástico y una única pieza de metal. Los bocetos han sido colgados y compartidos en la red” (Zazo, 2013)

Este evento llamó la atención tanto de los aficionados, que en cuestión de semanas lograron las 100.000 descargas del archivo para su modelamiento y fabricación en 3D, al mismo tiempo, fue revelado por un video sus características y su funcionalidad.

4.5.3.3 *Drogas impresas en 3D*

“Uno de los grandes desarrollos en este campo son también los medicamentos impresos en 3D, otro gran avance que nos acerca a la medicina adaptada al paciente y que podría cambiar los tratamientos médicos de manera radical” (Lucía C., 2020). Tan radical como la utilización de las impresoras de manera ilegal e ilícita en la creación de drogas sin un debido tratamiento y certificación en los hogares o laboratorios clandestinos.

4.6 Análisis de mercado de impresión 3D

4.6.1 Reporte Gartner

Desde 2005, el instituto estadounidense Gartner ha estado analizando con éxito los comportamientos de la impresión 3D en el mercado, donde han observado las tendencias tecnológicas mediante la curva de maduración tecnológica Gartner (Gartner Hype Cycle), que detalla las fases por las que pasa la adopción de una tecnología emergente.

El Hype Cycle de Gartner es una herramienta valiosa para los líderes de empresas y organizaciones, que les ayuda a comprender en qué etapa se encuentra una tecnología en su ciclo de vida y como deben gestionar sus inversiones y expectativas en relación con esa tecnología. También resulta útil para los innovadores y emprendedores que desean evaluar el potencial de una tecnología emergente en el mercado. Presenta distintas etapas de las expectativas y el impacto de las tecnologías:

Lanzamiento de la innovación (Technology Trigger):

Fase inicial, se produce una innovación tecnológica, un avance científico o una idea que desencadena un interés y atención del mercado.

Pico de las expectativas (Peak of Inflated Expectations):

A medida que el interés y la expectación continúan creciendo, la tecnología alcanza su punto máximo en cuanto a la atención y la emoción. Se generan expectativas exageradas sobre lo que la tecnología puede lograr, y a menudo se sobreestiman sus capacidades y beneficios.

Valle de Desilusión (Trough of Disillusionment):

A medida que las expectativas infladas se encuentran con la realidad y los desafíos técnicos, financieros o de otro tipo, la tecnología entra en una fase de desilusión. Puede haber un retroceso y una disminución del interés, y algunos proyectos y empresas pueden fracasar.

Pendiente de Iluminación (Slope of Enlightenment):

En esta etapa, la tecnología comienza a superar los desafíos y se desarrollan soluciones prácticas. Las organizaciones aprenden a utilizar la tecnología de manera más efectiva, y se identifican aplicaciones y beneficios más realistas. El interés comienza a crecer de nuevo, aunque de manera más sostenible.

Meseta de la Productividad (Plateau of Productivity):

Finalmente, la tecnología alcanza un nivel de madurez en el que se convierte en una herramienta establecida y se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones y sectores. Las organizaciones comprenden completamente cómo integrar la tecnología en sus operaciones y se obtiene un valor sostenible. (Gartner Inc, 2023)

Según Gartner para 2014:

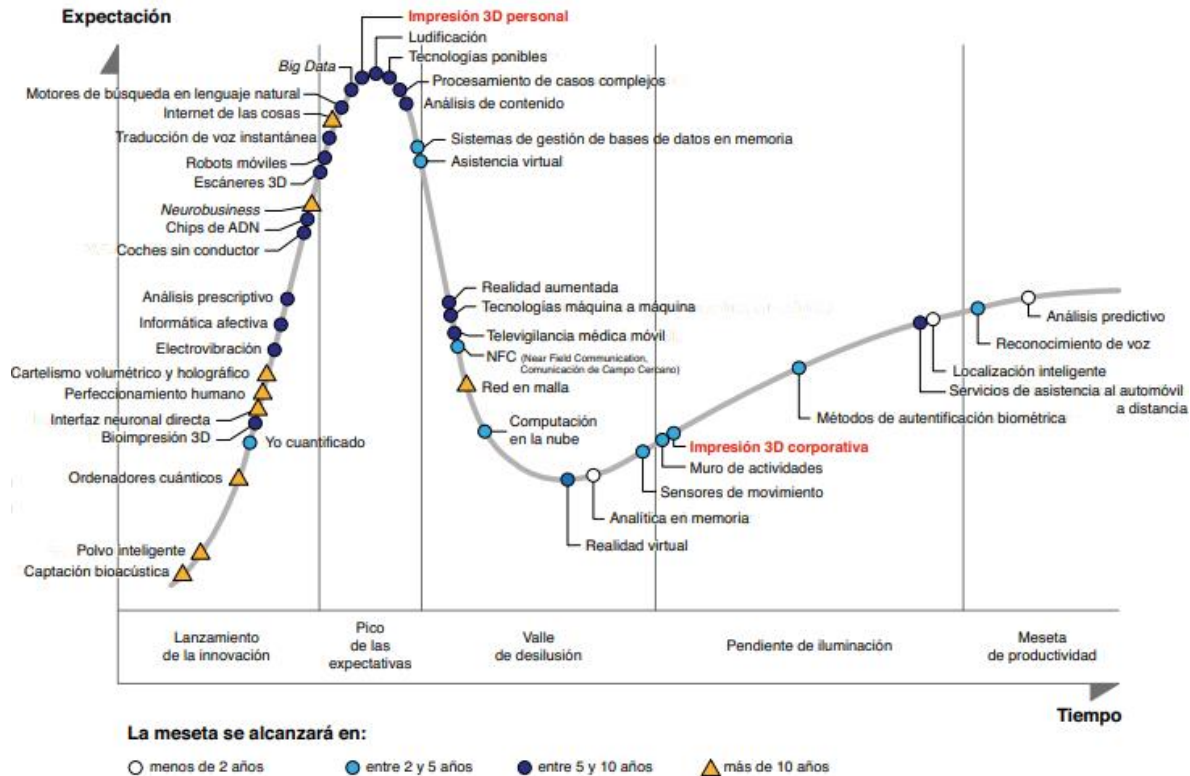


Figura 1. Curva de maduración tecnológica Gartner 2014

Fuente (Gartner Inc, 2023)

El instituto desarrolla anualmente actualizaciones del estado de las tecnologías en conjunto y en específico. Para ejemplificar, la Hype Cycle de 2014 presenta distintas tecnologías en distintas etapas y los años que hacen falta para que las tecnologías alcancen el nivel de estabilidad para generar cambios en nuestros estilos de vida y en las cadenas de suministros como de producción.

La impresión 3D para el año de análisis según el instituto Gartner se demostró en el peak de las expectativas y alcanzó el máximo de interés y atención para aquellos años del mercado. Se puede explicar por la liberalización de la patente al uso público en el mismo año.

Al mismo tiempo que se analiza la tendencia en la que se encuentra y cómo es percibida por las personas el tipo de tecnología emergente, se señala en cada una, cuál es el periodo restante para que la tecnología se consolide en el mercado. Para 2013 se estimó un periodo de 5 a 10 años de espera y desarrollo de la tecnología.

Según Gartner para 2019:

Se realizó un análisis de forma especial a la fabricación aditiva (Impresión 3D), esta revela distintos subdominios de la impresión y previsiones para el año 2019 de la tecnología, e incluso señala que la tecnología 4D está ganando cada vez más terreno.



Figura 2. Curva de maduración tecnológica Gartner 2019
Fuente (Lucia C., 2019)

Tras cinco años de actualizaciones y análisis del mercado, se puede observar cómo la consolidación de distintas subdivisiones de la impresión 3D ha avanzado considerablemente y están generando un impacto significativo en la forma en que las organizaciones desarrollan sus tareas en distintas áreas.

“El instituto predice que para 2023, las empresas nuevas que se centran en la impresión 4D atraerán \$300 millones en capital de riesgo. Un tema que ya interesa a algunos institutos de investigación y universidades como el MIT y algunos grupos grandes como Airbus, Autodesk, HP y Stratasys.” (Lucia C., 2019). Sin embargo, se plantean obstáculos pendientes, por ejemplo, algunos procedimientos plantean problemas éticos y regulatorios.

4.6.2 Reporte Wohlers

“El Reporte Wohlers es sin duda el informe de referencia de la impresión 3D a la hora de estudiar las características y tendencias clave del mercado”. (Alicia M., 2023). El 28° reporte anual de 2023 hace hincapié en el crecimiento continuo del sector de la fabricación aditiva. Concretamente el crecimiento de dos dígitos anima a los usuarios a invertir en tecnologías 3D. Específicamente un crecimiento del 18,3% en 2022 en términos de productos y servicios, esto como respuesta a la recuperación de mercado tras la pandemia mundial.

El cálculo fue realizado por los datos concretos de cientos de empresas de todo el mundo, 412 empresas distribuidas por 35 países diferentes, proporcionando una visión real del mercado. En el informe se describen distintos tópicos como la economía circular, el reciclaje, la inyección de aglutinante (tecnología Binder Jetting) y el lugar de las tecnologías 3D en el sector sanitario tema que toma protagonismo en el análisis de prefactibilidad actual



Figura 3. Resultados Reporte Wohlers de ganancias de manufactura aditiva

Fuente: (Alicia M., 2023)

“El sector de la fabricación aditiva sigue expandiéndose hacia aplicaciones de producción final. Esta tendencia aumentará a medida que se desarrollen y adopten normas. La fabricación aditiva está proporcionando piezas más grandes y críticas en muchas industrias” (Alicia M., 2023). Es normal que las industrias siempre se vuelven más complejas y exigentes en la calidad de sus resultados, lo que a su vez incita a la automatización, la rapidez y la orientación hacia la producción en serie. En este contexto, la impresión 3D se vuelve una alternativa bastante llamativa tanto en términos de calidad como en términos económicos. Esto se debe a la posibilidad del uso de distintos materiales y a la creciente accesibilidad de las máquinas de impresión 3D.

4.6.3 Reporte Hubs

El informe incluye emocionantes métricas e información en torno a las últimas tendencias en impresión 3D, previsiones de futuro, evaluación de las aplicaciones actuales e incluso la inspección del crecimiento del mercado y el papel de la sostenibilidad en la fabricación aditiva.

Entre estos, según el informe “el tamaño medio del mercado es de \$17.000 millones, con una tasa de crecimiento del 13%, y se prevé que crezca hasta un 17% en 2023. Esto incluye todas las ventas de sistemas, software, materiales y servicios relacionados con la impresión 3D” (Alicia M, 2023). Además, el informe aclara distintos paradigmas de la tecnología, donde el prototipado de productos sigue siendo el favorito con un 66% de los votos de los 1000 participantes del reporte.

Además, los análisis de crecimiento del mercado ofrecen una variedad de casos que logran sorprender a los lectores de las utilidades de la tecnología, entre estos, destaca mayormente la tecnología 4D que, gracias al avance y desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) en sinergia con la impresión 3D, pueden lograr resultados muy curiosos, como los llamados hidrogeles 4D con liberación autónoma de fármacos.

Nuevamente, el informe entrega conclusiones alentadoras del futuro de la impresión 3D, tanto para la sostenibilidad de las tecnologías, en la reducción de residuos, aumento la producción local y el reciclaje, además de identificar las más llamativas industrias por la cual invertir, como la de alimentos y los servicios de salud, regeneración y reconstrucción, anhelando mayores avances en la impresión de resultados finales, listos para su implante o digestión.

4.7 Análisis de mercado en impresoras 3D dentales

4.7.1 Reporte Grand View Research

“El mercado global de impresión dental en 3D aumentará a 9.700 millones de dólares en 2025, según un informe de Grand View Research. El informe pronostica una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de este mercado del 29,3 por ciento, impulsada en gran medida por la mayor demanda de soluciones de impresión 3D personalizadas y una creciente población geriátrica a nivel mundial” (DT Latin America, 2018)

El informe indica que se espera que Norteamérica tenga una mayor participación en el mercado global, aproximadamente un 38%. Además, el mercado del sintetizado por láser (SLS), o fotopolimerización tendrá una tasa compuesta anual mayor al 29%, ante la mayor demanda de las soluciones de impresión 3D.

Estas cifras son respaldadas por un informe elaborado por el International Dental Show (IDS), la mayor feria de la industria dental celebrada en 2019. “Según los expertos, la impresión en 3D puede producir un "cambio de juego" y traer consigo nuevos métodos de tratamiento, nuevas formas de trabajo en equipo y nuevos modelos de negocios. La odontología es una de la industria pioneras en este campo de nuevas oportunidades, tanto para la clínica como para el laboratorio” (DT Latin America, 2018)

La impresión 3D está experimentando el mayor crecimiento en los sectores médicos y dentales, donde dentistas, técnicos dentales, laboratorio y la industria dental en sí, están asumiendo un papel pionero de esta tecnología que cada día sigue más demandada y los desarrollos tecnológicos están facilitando más los procesos productivos.

Por último, señalan los análisis que se estima que el mercado mundial de productos de impresión 3D crecerá entre un 13% y un 23% alcanzando para 2030 llegar a un volumen de más de 25 millones de dólares.

4.7.2 Reporte Market and Markets

“La empresa de estudios de mercado Markets and Markets ha publicado recientemente su nuevo informe sobre la impresión dental en 3D que se espera que genere 7.900 millones de dólares en 2027, creciendo a un ritmo anual del 20,2% desde este año”. (Marta G., 2022)

El estudio se subdivide en las aplicaciones más comunes, los productos y servicios, los usuarios finales y regiones en las que más se utiliza este tipo de tecnología. Cada vez más profesionales del sector indican que recurren a proveedores de servicios y subcontratan la producción de dispositivos dentales impresión en 3D. Donde la Estereolitografía sigue siendo la tecnología más utilizada debido a su capacidad para producir piezas muy detalladas con un excelente acabado superficial.

Se muestra que la fotopolimerización sigue siendo el proceso más popular, con un 53% del mercado en 2021, SLS, PolyJet y luego el proceso FDM.

La prostodoncia representó el 55% del mercado en 2021, que se especializa en la restauración o el reemplazo de dientes dañados o faltantes con prótesis fijas o removibles. Se explica por la creciente demanda de coronas y puentes, con una prevalencia de caries y pérdida de diente. Se espera que la implantología tenga la mayor tasa de crecimiento con un 21,5% entre 2022 y 2027.

Por último, el estudio de Markets and Markets divide el mercado en tres grandes familias: laboratorios, hospitales y clínicas, y centros académicos y de investigación. No es de extrañar que los laboratorios representen el 78,6% del mercado en 2021.

4.7.3 Análisis de la Industria de Impresión 3D Dental en América Latina

“El tamaño del mercado de impresión 3D dental de América Latina alcanzó un valor de más de 640 millones de dólares en 2022. Además, se estima que el mercado objetivo suba a una CAGR del 14,30% en el período de pronóstico de 2023-2028.” (EMR, 2022)

El mercado latinoamericano de impresión 3D dental muestra unas proyecciones de crecimiento positivas debido a la digitalización y los avances tecnológicos en la región. Por otro lado, en el sector sanitario, los implantes dentales ocupan el 34% de la cuota de mercado de impresión 3D, seguidos del 19,1% y el 13,2% de implantes y prótesis, respectivamente. Además, el crecimiento del 44,5% en las importaciones por valor de 98,5 millones de dólares fue monitoreado en dispositivos protésicos dentales y articulares en Brasil en 2020 uno de los países en Latinoamérica más interesados en la tecnología.

El informe señala que el aumento de la adopción de impresoras 3D dentales se debe al incremento de la demanda de tratamientos dentales y la necesidad de reducir del tiempo de fabricación. Además, el canal digitalizado de grabación (escáner 3D) está superando la incomodidad del procedimiento, proporcionando así una mayor satisfacción del cliente y un ascenso en la cuota de mercado de la impresión 3D dental en América Latina en el período de pronóstico de 2023-2028.

Las principales tendencias que guían el crecimiento del mercado son la creciente demanda de odontología cosmética, el aumento de la prevalencia de enfermedades bucodentales en todo el mundo, los avances en tecnologías informáticas y aplicaciones de software, y las innovaciones en tecnologías de impresión 3D.

5 Lenguaje de diseño e impresión 3D

5.1 CAD/CAM

El sistema CAD/CAM (Computer aided design/Computerized assisted manufacture) es utilizado en las impresoras 3D para el diseño y manufactura de prácticamente cualquier objeto que se pueda diseñar en tres dimensiones.

Los sistemas CAD permiten realizar el diseño de productos y componentes a través de gráficos interactivos, con la posibilidad de transformar un plano, un objeto en dos dimensiones a uno en tres dimensiones. Muy utilizado por diseñadores al crear prototipos, modelar productos con la facilidad de poder compartir las visualizaciones de manera práctica, además, el sistema nos permite rotar el prototipo, eliminar imperfecciones y personalizarlo como lo desee el cliente o el profesional, en otras palabras, los sistemas CAD permiten diseñar lo que tú quieras.

“A través del famoso “Código G” podemos hacer que nuestro diseño computarizado (CAD) sea comunicado a nuestra impresora, la cual se dedica a convertir el diseño a un producto final (CAM). Específicamente, el archivo se envía desde el software de diseño en formato STL y la impresora mira la imagen en miles de capas las cuales se imprimen una sobre otra.” (Mattews, 2021)

En un comienzo, este sistema estaba dedicado para ingenieros o diseñadores industriales, para proporcionar ayuda a la hora de realizar pruebas de error en sus prototipos, sin embargo, hoy en día cualquier persona en su hogar puede obtener una impresora y a la vez “jugar” con ella aprendiendo estos sistemas. No necesitas ser un informático para aprender sobre esta tecnología.

“En el diseño de máquinas, el CAD permite reducir el tiempo de desarrollo y mejora la calidad de estas. Con el conocimiento del mercado local y el uso de bases de datos externas como: TraceParts, PARTcommunity o 3D ContentCentral® el diseñador es capaz de gestionar e incluir en su proyecto una serie de elementos estandarizados y verificar su interacción con las piezas de construcción mecánica, esto le permitirá optimizar la obtención de planos de taller, planos de conjunto y lista de materiales” (Victor A. Erazo-Arteaga, 2022)

5.2 Cursos de odontología digital

Existen muchos cursos de CAD/CAM, si deseas interiorizar más en el diseño gráfico en tres dimensiones, existen varias ofertas desde profesores particulares, instituciones privadas e inclusive universidades facilitan el aprendizaje con sus cursos. Además, para la utilización de los softwares no es requerido poseer una impresora 3D, puedes diseñar y aprender el modelamiento de prototipos desde tu computadora e inclusive con un software gratuito.

Existen empresas que se dedican a la formación y facilitación de cursos para la industria dental, dentro de los contenidos que principalmente entregan son:

1. De qué se trata el flujo digital.
2. Qué es un archivo STL.
3. Demostración de escaneo 3D.
4. Los primeros pasos en tu laboratorio.
5. Equipamiento necesario para imprimir.
6. Tipos de programas para la edición en 3D.
7. Edición de un archivo STL.
8. Instalación y configuración de una impresora.
9. Cuidado del equipamiento.
10. Ahuecado de piezas.
11. Instalación de soportes.
12. Variables que influyen en una buena impresión.
13. Pasos que seguir con nuevas resinas.
14. Parametrización y valores más usados.
15. Problemas comunes y su solución.

Los costos aproximados de los cursos son variables tanto por la metodología presencial o remota, profundización de contenidos y cantidad de horas. Por ejemplo, en [CursosOdonto3D](#) cuentan con un curso online de 30 días a 297 USD (\$290.000 pesos chilenos). Existen otros cursos en distintas instituciones como:

- [BioTechAcademy](#)
- [CursosOdonto3D](#)
- [UdemyCAD/CAM](#)
- [DentalCADAcademy](#)

6 Software para impresoras dentales 3D

Para quienes recién se interesan en adquirir la tecnología en tres dimensiones, existen distintas alternativas dependiendo de sus conocimientos de diseño CAD/CAM, inversión, demanda o volumen de impresión.

Cabe mencionar que algunas impresoras 3D tienen integrado un software específico, otras no lo incluyen y se debe adquirir para su correcto funcionamiento, por otro lado, existen impresoras que son más genéricas y que no sugieren ninguno en particular.

La mayoría de los softwares tienen integrado los modelos de impresión 3D dental, las cuales sugieren ajustes y una calibración específica. Entonces, se debe mencionar que la elección de un software para diseño CAD/CAM específico para la industria dental es muy importante y actualmente existen distintas modalidades:

6.1 Software CAD pagos

Actualmente existen software de diseño CAD/CAM que ofrecen facilidades, comodidades y herramientas únicas con un uso ilimitado, esto requiere de un considerable conocimiento técnico y los valores para adquirir estos softwares son bastante elevados comparados con los de menores herramientas.

Si realmente deseas integrar la tecnología 3D en la producción de estructuras en el laboratorio o clínica dental, estos softwares entregan las más complejas y completas herramientas que existen en el mercado con un uso ilimitado sin restricciones. En términos de costos y utilidades depende de la demanda que presente el laboratorio, el ritmo donde recupere la inversión realizada.

Algunos de los principales softwares son:

- [3Shape Dental System](#)
- [ExoCAD DentalCAD](#)
- [Dentsply Sirona CEREC](#)
- [Planmeca Romexis](#)

6.2 Tercerización de diseño

Distintos laboratorios están dedicados a ofrecer únicamente el servicio de diseño CAD/CAM a las clínicas que desean tercerizar ciertos procesos y lo confían en otras empresas y profesionales con mayores conocimientos técnicos de la tecnología.

Existen distintos proveedores que son especialistas en distintas áreas digitales, como prostodoncia, ortodoncia o implantología. Su función principal es entregar soluciones en diseño y creación de estructuras dependiendo del requerimiento del laboratorio.

Para evitar costos iniciales elevados de la inversión de la tecnología 3D, aprender conocimientos técnicos, mantención y materiales, muchos laboratorios y clínicas comienzan con un aliado diseñador CAD/CAM.

Algunos en Chile son:

- [Dentistas por Chile](#)
- [SOi Digital](#)
- [Oral Teck](#)

6.3 Softwares “Pay-Per-Case”

Para volúmenes de trabajo variable y que no necesitan un software constantemente. Algunas empresas ofrecen un tipo de modelo para adaptarse a la necesidad de la clínica o laboratorio.

Es un modelo de negocio donde los usuarios (clínicas o laboratorios) pagan por el uso del software según la cantidad de casos que procesan. Esto significa que no pagan mensualidades fijas del software, sino, sólo por cada caso dental que diseñan y fabrican utilizando CAD/CAM.

Dependiendo del proveedor, usualmente se compran créditos o tokens que se utilizan para pagar cada caso que procesan, como una estructura removible, férula entre otras utilidades. Esto puede resultar de gran utilidad para clínicas que poseen el conocimiento CAD/CAM, pero por motivos de demanda o volúmenes de impresión no requieren constantemente de la suscripción o licencia anual de un software muy sofisticado.

6.4 Softwares gratuitos más reconocidos

Existen numerosos programas que pueden ayudar en el proceso de la impresión 3D, desde el diseño de piezas, pasando por su corte en el código G y hasta el control de la impresora 3D durante la fabricación.

Ante la existencia de orígenes libres del mercado local o el uso de bases de datos externas, algunos de los programas de softwares siguen siendo de pago. A continuación, se enseñarán algunos de los programas gratis para su familiarización desde softwares de corte, diseño o visualización.

Cabe mencionar que la producción de estructuras en 3D para la industria dental preliminarmente no requiere de certificación sanitaria el diseño y producción, sin embargo, para los requerimientos de los tratamientos la utilización de materiales biocompatibles es fundamental a la vez que el diseño funcional debe cumplir con los estándares mínimos exigidos del área de trabajo de cualquier laboratorio o clínica dental.

En ocasiones algunas marcas o modelos de impresoras requieren de un programa exclusivo, los cuales no son considerados a continuación:

Software	Función	Sistema operativo	Tipo de impresora	Descarga
Blender	Diseño	Windows, MacOS, Linux	Todas	Blender
Fusion 360	Diseño		Todas	Fusion 360
FreeCAD	Diseño		Todas	FreeCAD
ChiTuBox	Programa de corte		Resina (LCD)	ChiTuBox
Cura	Programa de corte Visualización impresora 3D		Filamento (FDM)	Cura
UVTools	Análisis y modificación de archivos Caja de herramientas MSLA		Resina (LCD/DLP)	GitHub
Web printer	Visualización de código G	Navegador web	Filamento (FDM)	WebPrinter
Kiri:Moto	Programa de corte		Filamento (FDM) Resina (LCD)	Kiri:Moto

Tabla 1. Softwares gratuitos de diseño CAD/CAM

7 Tecnologías de Impresoras dentales 3D

La tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) consta de un procedimiento de impresión capa por capa, lo cual nos permite diseñar y fabricar distintas estructuras añadiendo material, el cual puede ser biocompatible o no.

El nivel de detalle de las impresoras lo define el tamaño o grosor de la capa a imprimir, lo cual se denomina “micras” ($1\ \mu\text{m} = 0.001\ \text{mm}$), el tamaño de las micras define el nivel de detalle que entrega a las estructuras, mientras menor sea el tamaño o grosor de la micra, más detallado serán los bordes de la estructura, entonces, el proceso de impresión se vuelve más lento.

Ante esta básica explicación del funcionamiento de una tecnología 3D, el rápido avance de la tecnología y los requerimientos de los odontólogos y laboratoristas, están desarrollando innumerables modelos complejos distintos de impresoras 3D que facilitan u ofrecen nuevas posibilidades.

A continuación, los tipos de impresoras 3D más utilizados en la industria dental:

7.1 Fotopolimerización o Polimerización VAT

“La polimerización en tanque es un proceso de impresión 3D en el que una fuente de luz cura o endurece de forma selectiva una resina de fotopolímero en un tanque. En otras palabras, la luz se dirige con precisión a un punto específico de una fina capa de plástico líquido para endurecerla. Este proceso se repite capa a capa hasta dar forma a una pieza en 3D.” (All3DP, 2022)

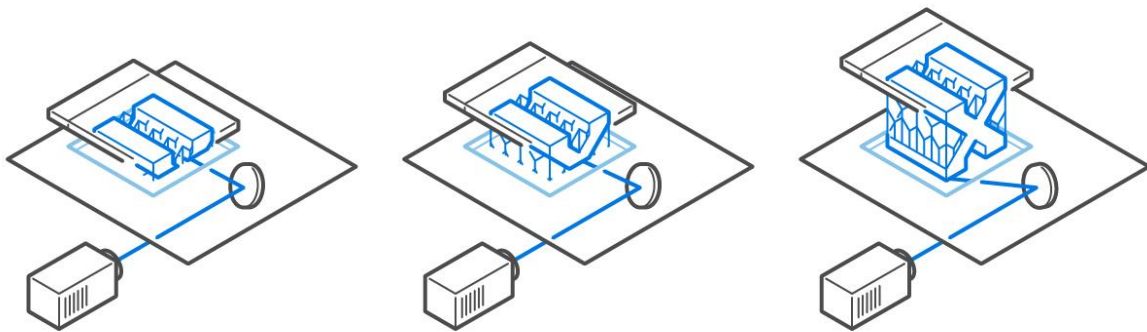


Figura 4. Tecnología de impresión 3D de Fotopolimerización
Fuente. (All3DP, 2022)

7.1.1 Estereolitografía (SLA)

La SLA posee la distinción histórica de ser la primera impresora en tres dimensiones del mundo en 1986 y una de las más conocidas.

La impresora utiliza espejos conocidos como galvanómetros (galvos), estos posicionados en el eje X y otro en el eje Y. Junto al láser sobre el tanque de resina, polimeriza y solidifica el objeto dentro del tanque, construyéndolo capa por capa.

La mayoría de las impresoras SLA utilizan un láser sólido para curar las piezas, sin embargo, en los trazos transversales tarda bastante más en comparación con las impresoras DLP.

7.1.2 Procesamiento digital de luz (DLP)

A diferencia de la Estereolitografía, el DLP utiliza pantallas emisoras de luz (LED) o mediante una fuente de luz ultravioleta. Se procesa la imagen del objeto proyectando luz capa a capa compuesta por píxeles cuadrados generando pequeños bloques rectangulares dirigidos por un dispositivo de micro espejos (DMD).

7.1.3 Liquid crystal display (LCD)

Es una variante de la SLA, utiliza una máscara LED para proyectar luz ultravioleta en patrones específicos sobre la resina fotosensible líquida con pantallas LCD.

La diferencia radica en la utilización de una máscara que permite o limita la proyección de la luz ultravioleta, en cambio, la SLA utiliza un láser de precisión (galvómetro) con el fin de solidificar la resina en sus patrones específicos.

Ambas son tecnologías similares LCD y SLA, la diferencia radica en su velocidad y características de fotopolimerización, ambas son capaces de realizar acabados de piezas de alta calidad y son adecuadas para diversas aplicaciones.

Por último, hay que destacar que las pantallas LCD requieren frecuentemente de reemplazos, pero su bajo coste y calidad de resultados han demostrado ser una de las impresoras más populares en el ámbito dental, debido a su velocidad y calidad en los resultados.

7.2 Extrusión de material

“La extrusión de material es un proceso de impresión 3D en el que se empuja un filamento de material termoplástico sólido a través de una boquilla calentada, derritiéndolo en el proceso. La impresora deposita el material en una plataforma de construcción a lo largo de una trayectoria predeterminada, donde el filamento se enfría y solidifica para formar un objeto sólido.” (All3DP, 2022)

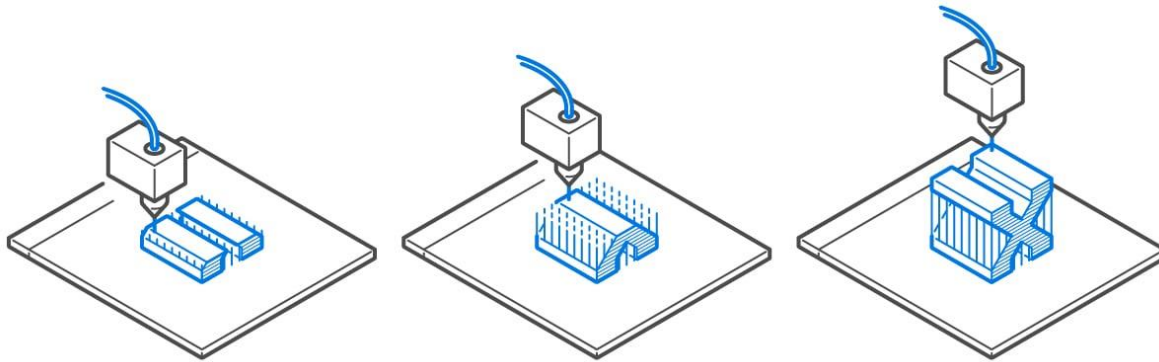


Figura 5. *Tecnología de impresión 3D de Extrusión de material*

Fuente. (All3DP, 2022)

7.2.1 Modelado por deposición fundida (FDM)

Actualmente es la tecnología de impresión más común y económica del mundo. Es uno de los métodos más utilizados en distintas industrias, su sencillo método de producción guiado por coordenadas y el código g.

Para hacernos una idea de donde se implementa o se puede implementar este tipo de tecnología, se puede utilizar con distintos materiales de los más curiosos, desde la creación estructuras de chocolate en la cocina experimental, crear estructuras con hormigón para maquetas de un arquitecto o hasta tan simple como crear una decoración para tu cuarto con plástico reciclable.

Cabe destacar que con casi todos los materiales los cuales se puedan extruir, en otras palabras, forzar un material en forma de filamento bajo la boquilla caliente y crear estructuras por capas hasta crear un objeto tridimensional.

Sus principales usos son en carcasas eléctricas, plantillas, fijaciones, patrones de fundición, férulas entre otras, además su tecnología económica y gran gama de colores y de materiales disponibles lo hacen el favorito de muchos.

7.3 Fusión en lecho de polvo

“La fusión en lecho de polvo metálico es un proceso de impresión 3D que genera objetos sólidos utilizando una fuente térmica para inducir la fusión entre las partículas de polvo metálico de una capa cada vez.” (All3DP, 2022)

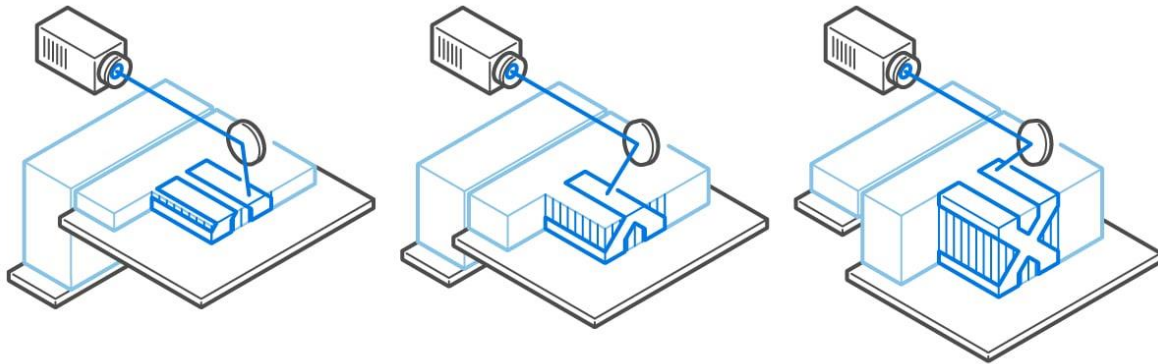


Figura 6. Tecnología de impresión 3D de Fusión de lecho en polvo
Fuente. (All3DP, 2022)

7.3.1 Sintetizado selectivo por láser (SLS)

Es una de las técnicas más populares y versátiles en la impresión 3D y se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, desde la fabricación de prototipos hasta la producción de piezas finales.

La impresión SLS es conocida por su capacidad para producir piezas con una amplia gama de materiales, incluyendo plásticos, cerámica y metales, lo que la hace adecuada para aplicaciones industriales diversas. Es especialmente útil cuando se requiere una alta resistencia y durabilidad en las piezas, y no necesita soportes adicionales durante la impresión, lo que facilita la producción de geometrías complejas.

7.4 Inyección de material

“La inyección de material es un proceso de impresión 3D en el que las gotas de material se depositan y curan de forma selectiva en una placa de construcción. La naturaleza del proceso de inyección de material permite imprimir diferentes materiales en el mismo objeto. Una aplicación de esta técnica es la fabricación de estructuras de soporte a partir de un material diferente al del modelo que se está fabricando”. (All3DP, 2022)

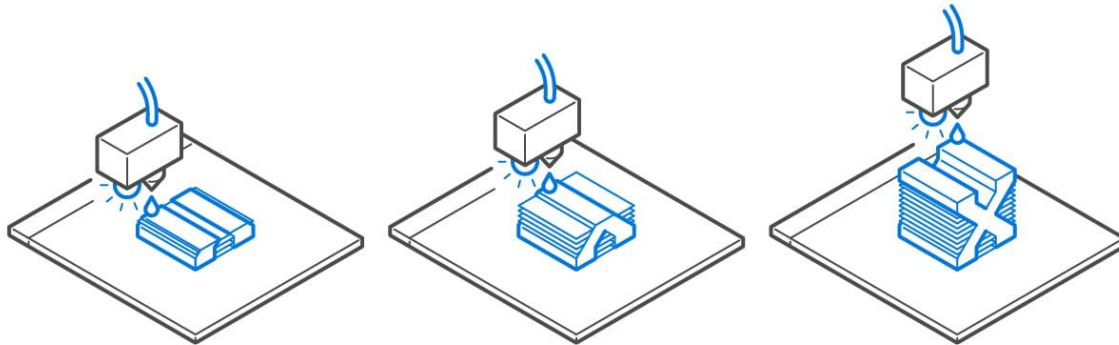


Figura 7. Tecnología de impresión 3D de Inyección de material
Fuente. (All3DP, 2022)

7.4.1 PolyJet (MJ)

“Las impresoras 3D PolyJet funcionan de forma similar a las impresoras tradicionales de chorro de tinta, pero curan gotas de plástico fotopolimerizable en vez de inyectar gotas de tinta. Durante la impresión, un cabezal se mueve por la base de impresión a lo largo de los ejes X e Y, propulsando gotas de resina contra la base de impresión. En ese mismo movimiento, la luz ultravioleta procedente del cabezal de impresión cura las gotas que hay sobre la base de impresión” (Formlabs, 2020)

7.5 Principales actores de Impresión Dental 3D

Algunas de las principales marcas, todas ofrecen un amplio catálogo en tecnología de impresión 3D dental, materiales específicos para el área y variados expedientes de información de sus productos, casos de éxitos, nuevos desarrollos, entre otros.

Empresa	Página web	Origen
Rapid Shape	https://www.rapidshape.de/products/dental/	Alemania
Kulzer GmVH	https://kulzer.es/es/es/inicio/inicio.html	Alemania
Asiga	https://www.asiga.com/industry-dental/	Australia
3D Systems	https://es.3dsystems.com/dental	EE. UU.
Stratasys	https://www.stratasys.com/mx/industries-and-applications/3d-printing-industries/dental/	EE. UU.
Formlabs	https://formlabs.com/	EE. UU.
EnvisionTec	https://health.desktopmetal.com/dental-3d-printing/	EE. UU.
DWS Systems	https://www.dwssystems.com/3d-printers/dental-lab-clinic	Italia
Roland DG	https://www.rolanddga.com/es/productos/dental-y-medico-cad-cam	Japón

Tabla 2. Principales actores de Impresión 3D Dental en el mundo

8 Materiales de impresión 3D dental

La industria de impresión 3D dental es una de las que más productos y desarrollo en la tecnología lleva hasta la actualidad. Hay ciertas impresoras que sólo funcionan con materiales propios, lo que significa que las opciones se limitan a los productos que ofrezca el fabricante de la impresora. Otras cuentan con sistema abierto, lo cual permite utilizar materiales desarrollados por otros fabricantes.

Sin embargo, para el análisis se describirán los tipos de materiales, en su mayoría resinas más utilizadas en el laboratorio y clínica dental:

8.1 Resinas

Modelado	Son ideales para modelos de todo tipo: implantes, modelos para diagnóstico, para ortodoncia, modelos de coronas y puentes, modelos para alineadores, etc.	
Guías Quirúrgicas	Una resina esterilizable y biocompatible, las cuales son idóneas también para hacer guías de perforación y plantillas de dimensionado de productos.	
Translúcida	Ideal para férulas y guardas oclusales. Esta resina posee una alta resistencia a las fracturas y es pulida hasta alcanzar una gran transparencia óptica.	
Patrones de Fundición	Útil para la fundición y prensado de coronas, puentes y prótesis parciales extraíbles. Los patrones impresos son lo suficientemente resistentes como para usarlos sin post curado para una mayor rapidez.	

Prótesis Dentales	Las resinas biocompatibles de clase II de larga duración para prótesis dentales digitales, tanto finales como de prueba. Permiten a los profesionales de la odontología producir prótesis completas impresas en 3D de forma precisa y fiable, y hacer que el departamento de prótesis extraíbles pase a trabajar de forma totalmente digital.	
Restauraciones Temporales	Indicada para puentes de hasta siete piezas y está disponible en cuatro colores. Pueden estar en la boca hasta 12 meses.	
Coronas Permanentes	Su baja absorción de agua y el acabado liso garantizan que las restauraciones llevadas a cabo con esta resina soporten el envejecimiento, la decoloración y la acumulación de placa.	
Tejido Blando	Permiten crear máscaras gingivales flexibles en combinación con modelos dentales rígidos, además de añadir piezas extraíbles de tejido blando a la producción de modelos para comprobar con seguridad las prótesis e implantes	

Tabla 3. Materiales de Resina 3D dental

8.2 Otros materiales

Existe gran variedad en desarrollo de materiales híbridos que combinan las propiedades y características de distintos materiales, desde flexibilidad, resistencia, biocompatibilidad entre otros.

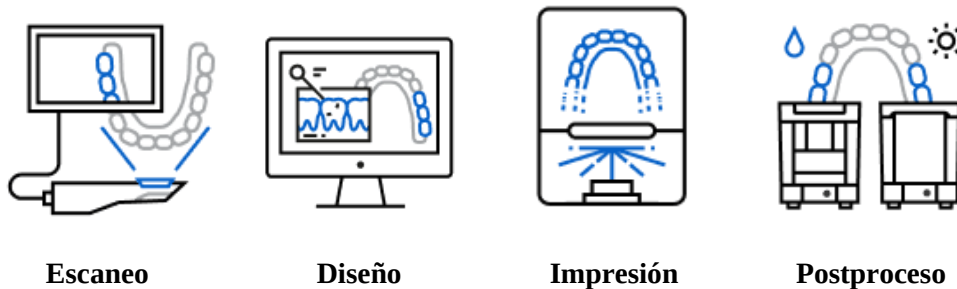
Hay múltiples otros materiales tales como PVA, cerámicos, materiales plásticos como PET, Nylon o metal Cr-Co, aluminio, titanio, PMMA, estos principalmente se utilizan en impresoras DMP o FDM, las cuales son de uso más industrial y de mayor especialización.

9 Aplicaciones Impresión 3D Dental

Odontología y el laboratorio dental son los rubros que más desarrollo han tenido este último tiempo en materia de impresoras 3D y sus materiales. Existen hoy en día una variedad gigantesca de impresoras, materiales y artículos complementarios de curación de las piezas diseñadas.

Se pueden categorizar distintas etapas a la hora de crear una estructura para la industria dental:

1. **Escaneo** digitalizado de la cavidad bucal, de la mordida o del diente o implante a fabricar gracias al trabajo con un escáner intraoral.
2. **Diseño** en ordenador de la prótesis dental utilizando un software 3D que permite calcular los ejes de inserción y tener referencias para fabricar posteriormente la pieza de forma exacta.
3. **Impresión** del dispositivo dental en muy pocos minutos, partiendo de los datos en tiempo real que fueron recabados en el diseño de la prótesis.
4. **Acabado de producto** aplicando la caracterización final para mejorar la estética.



Ante esto, el avance en la tecnología ha generado grandes facilidades para los profesionales, en términos de:

- Diseño
- Tiempos de proceso
- Ahorro en costes
- Viajes al dentista
- Mayor efectividad de procesos quirúrgicos

9.1 Guías quirúrgicas

“Una guía diagnóstica y/o quirúrgica es un dispositivo biomédico que permite la preparación de los alveolos quirúrgicos y la inserción controlada de los implantes dentales respetando las estructuras anatómicas y garantizando que la futura rehabilitación sea adecuada.” (Henao Jefferson, 2018)

9.2 Implantes dentales

“La cirugía de implantes dentales es un procedimiento que reemplaza las raíces de los dientes con pernos metálicos que parecen tornillos y reemplaza el diente faltante, o dañado, con un diente artificial que tiene el mismo aspecto y que cumple la misma función que los dientes reales. Puede ofrecer una opción cuando una falta de raíces de los dientes naturales no permite la creación de dentaduras o reemplazos de los dientes con puentes.” (MayoClinic, 2019)

9.3 Coronas y puentes dentales

“Las coronas y la mayoría de los puentes son prótesis que se colocan de manera fija. A diferencia de las prótesis removibles, que se pueden remover y limpiar diariamente, las coronas y los puentes fijos se cementan sobre los dientes o implantes existentes, y sólo un dentista puede extraerlos.” (Colgate, 2023)

9.4 Prótesis metálicas

Este tipo de dentadura tiene una mejor retención gracias a que están fabricadas con metal; se utilizan cuando el paciente aún tiene piezas dentales. Al pasar de los años, su confección y diseño ha evolucionado hasta ser muy delgada y pequeña, pero muy resistente a los movimientos, comida y fuerzas mandibulares. “El funcionamiento de este tipo prótesis es a base de una estructura metálica con ganchos que se colocan en la zona donde se tenga dientes, para que los ganchos ejerzan la función de sujeción, es decir, impedir que la prótesis se caiga.” (Wildsmile, 2020)

9.5 Prótesis acrílicas

Este tipo de prótesis dental es sin duda la más usada en el mundo, gracias a su estética y funcionalidad. “A diferencia de las prótesis dentales esqueléticas (metálicas), las prótesis acrílicas están fabricadas con un material liviano llamado acrílico, lo que las hace menos pesadas y más estéticas, sin embargo, no son tan resistentes.” (Wildsmile, 2020)

9.6 Patrones de fundición

El patrón de fundición es un proceso de fabricación muy común para producir piezas de metal. Crea moldes, donde los fabricantes vierten el metal fundido, luego de su enfriamiento, se eliminan impurezas y se pule la estructura.

“Es una de las técnicas más antiguas con las que se le da forma al metal, pues existe desde hace 6.000 años y sigue estando muy extendida como método para producir productos odontológicos.” (Formlabs, 2020)

9.7 Alineadores y retenedores

“Son aparatos hechos a medida para mantener los dientes en su lugar. Pueden servir para corregir pequeños problemas en los dientes. También para mantener las correcciones obtenidas durante el tratamiento de ortodoncia. Los retenedores funcionan como férulas dentales porque los mantiene en la posición ideal, donde los brackets los han dejado.” (Ortiz, 2023)

10 Tamaños de empresas en Chile

10.1 Criterios

En el presente análisis se dirige a todos los profesionales odontólogos y laboratoristas dentales principiantes e interesados en adquirir tecnología 3D en sus labores, a continuación, se distinguirá las MIPYMES (Micro, Pequeña y Mediana Empresa).

Una persona natural como jurídica tiene responsabilidades y obligaciones, debe de acogerse al régimen general de tributación. Existen distintos criterios para diferenciar su tamaño en el nivel de ventas anuales en UF (Unidades de Fomento) Según la jurisdicción chilena.

Se mencionará brevemente las características de cada tamaño de empresa con el fin de conocer y diferenciar el propósito del análisis y a quien está dirigido.

10.1.1 Microempresa

“Se considera microempresa a toda entidad que ejerce una actividad económica de forma regular, ya sea artesanal u otra, a título individual o familiar o como sociedad, y cuyas ventas anuales son inferiores a 2.400 UF.” (SII, Micro empresas, 2015)

Dentro de este grupo de contribuyentes (empresas) se puede considerar:

- Pescadores
- Artesanos
- Laboratorios pequeños
- Otros

10.1.2 Pequeña y Mediana empresa

“Considera como Empresas Pequeñas a las que venden entre UF2.400 y UF25.000 al año y como Empresas Medianas las que venden más de UF25.000 al año, pero menos de UF100.000. Esto implica que en términos de ventas anuales se define como PYMES a las empresas que se encuentran en el rango de UF2.400 a UF100.000.” (SII, Pequeñas y Medianas (PYMES), 2015).

Dentro de este grupo de contribuyentes (empresas) se pueden considerar:

- Comercio
- Hoteles y Restaurantes
- Laboratorios y Clínicas
- Otros

11 Laboratorio Dental con Impresora 3D

11.1 Escáneres 3D

Los escáneres 3D tienen una tecnología que captura de manera fácil y rápida las imágenes entregando la información necesaria para la impresión digital dental de manera precisa y completa. Entrega a los pacientes un tratamiento eficiente y cómodo, entregando un mejor diagnóstico y comunicación con modelos intraorales y extraorales.

El escáner se puede utilizar para restauraciones digitales, ortodoncia digital, implantes digitales, prótesis dentales y mucho más. También es utilizado para escanear una impresión de polivinilsiloxano (PVS) o un modelo de yeso. La manera más utilizada es bajo un sistema completo de escaneado y diseño asistido por ordenador, exporta la imagen escaneada como un archivo abierto en formato STL y OBJ directo desde la boca de paciente.

En comparación, el método convencional de impresión con cubetas puede tener errores y a veces resulta incómodo para el paciente realizar nuevas impresiones y más viajes. Mediante este escáner la estructura bucal del paciente queda almacenado en la nube y se pueden compartir con un código QR, URL o archivo STL, logrando mejor conexión y comunicación odontólogo-paciente y odontólogo-laboratorio, reduciendo tiempos de comunicación, diagnóstico y ofrece un tratamiento innovador digital de alta eficiencia.

Existen múltiples ofertas de escáneres digitales en la región de Valparaíso, algunas de estas son:

Marca	Tipo	Valor CLP	URL
Runyes	Intraoral	\$9.500.000	https://www.dental-laval.cl/
Qscan	Extraoral	\$6.590.000	https://biotechchile.cl/
Launch Medical	Intraoral	\$12.627.000	https://gexachile.cl/
MEDIT	Intraoral	\$12.490.000	https://www.techdent.cl/

Tabla 4. Oferta de escáneres digitales en Valparaíso

Generalmente los valores oscilan entre los \$5.000.000 a \$12.000.000 CLP, esta variación principalmente por el tipo de escáner, intraoral o extraoral, reconocimientos de marca, extensiones de garantía, el modelo, características específicas, e inclusive la integración con softwares CAD/CAM y de fresado, los cuales optimizan el cambio análogo tradicional a un sistema odontológico digital.

Para el laboratorio dental la comunicación con el dentista es imprescindible, distintos viajes de pruebas en boca, colorimetría, funcionalidad entre otros, ralentizan el proceso productivo y en ocasiones, deficientes ajustes arruinan todo el proceso y se pierde la impresión del paciente.

“Un buen registro y escaneo entrega un buen modelo impreso”:

Ventajas:

- Mejor comunicación odontólogo con paciente y laboratorio
- Almacenamiento digital de estructura bucal
- Mejor precisión en el diagnóstico y análisis
- Tratamiento más cómodo
- Reducción de tiempos y viajes a consulta
- Nuevas oportunidades en alternativas de tratamiento en impresión 3D
- Facilidad en integración con otras demandas de tratamiento

Desventajas:

- Costo inicial considerado
- Conocimientos técnicos

Existen distintos escáneres que poseen software integrado que permiten un flujo de trabajo con herramientas necesarias para su diseño CAD/CAM e impresión en tres dimensiones, sin embargo, muchos de estos que no lo tienen integrado se utilizan comúnmente otros softwares de uso libre AutoCAD y luego se unifican con la impresora 3D para su consiguiente fabricación.

11.2 Implantología

11.2.1 Guías quirúrgicas

Antiguamente la cirugía de extracción de las piezas dentales requería de tiempos de recuperación que podían llegar a tardar 8 meses. Entonces, se colocaban los implantes y se esperaban otros 6 meses más para la colocación de coronas sobre los implantes. Todo el tratamiento puede durar entre 12 - 18 meses. Todo el tratamiento con serios cuidados de infecciones, posibles daños en zonas delicadas como el seno maxilar o el nervio dentario.

Hoy existe una nueva alternativa mucho más cómoda y que no requiere de ninguna preparación, puesto que se realiza una cirugía mínimamente invasiva, la cual permite minimizar la inflamación y los sangrados, además de dar por terminado las molestias postoperatorias.

La implantología en 3D consiste en la realización de una impresión de la estructura bucal y los posteriores implantes en 3D, mediante el escáner intraoral. Además, también se utiliza el CBCT (Cone Beam Computed Tomography) un dispositivo que sin apenas radiación permite obtener imágenes 3D de la estructura del cráneo del paciente. Estos dispositivos y herramientas entregan mayor comodidad para el paciente, mayor seguridad para el cirujano dentista y un resultado clínico más óptimo.

De este modo, el paciente puede observar los resultados de la intervención por simulación en tres dimensiones. Luego de que se han tomado todas las medidas necesarias se lleva a cabo la creación de una férula o guía quirúrgica en impresoras 3D, esto con la función de funcionar como una guía para la perforación de la encía con una técnica y prolijidad más segura y mínimamente invasiva.

Por lo general el proceso quirúrgico tarda unas horas desde el implante de titanio hasta la colocación de una corona provisional hasta que finalice el proceso de osteointegración, el cual sólo llega a durar unos 2-3 meses, dejando atrás el susceptible error humano.

Los pasos son:

- Escaneo intraoral digital 3D.
- Estudio CBCT.
- Planificación digital de prótesis e implantes.
- Diseño de la guía quirúrgica.
- Impresión 3D de la guía quirúrgica.

Ventajas:

- Mayor seguridad y comodidad al paciente
- Mejores resultados clínicos y estéticos
- Cirugía mínimamente invasiva
- Menor periodo de adaptación y recuperación
- Disminución de posibles daños en zonas delicadas

Desventajas:

- Aumento del costo de producción
- Necesidad de un escáner intraoral
- Casos más complejos requieren métodos tradicionales.
- Adherirse a normativas para garantizar seguridad del paciente y eficiencia del tratamiento

11.3 Prostodoncia

11.3.1 Modelos dentales

Una de las mayores comodidades que ofrece la impresión 3D en la industria dental digital es la capacidad de almacenamiento digital de la estructura bucal de cada paciente, ahorrando viajes para el laboratorio y el paciente. Un archivo digital capaz de ser compartido y almacenado en la nube con cada detalle y análisis por realizar al paciente favorece el orden, comodidad, modificaciones y ajustes al diseño y personalización del paciente.

El diseño CAD/CAM y los escáneres intraorales reemplazan el molesto uso del alginato o silicona que se utiliza para moldear la estructura dental del paciente, para ser llevado al laboratorio con los distintos requerimientos de restauración del paciente.

Existe otra alternativa de impresión de modelos dentales para planificar tratamientos y la fabricación de prótesis dentales personalizadas.

“Por ejemplo, la impresora 3D LFS Form 3B puede producir un único modelo de ortodoncia en tan solo 20 minutos con la Draft Resin, mientras que, el gran volumen de impresión de la impresora te permite producir 18 modelos a la vez por la noche sin necesidad de supervisión. La FORM 3BL, la impresora 3D de gran formato de Formlabs para la odontología y la ortodoncia, es capaz de producir hasta 52 modelos por impresión.” (Formlabs, 2019)

Los distintos beneficios de la impresión del modelado:

- Mayor comodidad para el paciente
- Menos viajes dentista-laboratorio
- Prototipado personalizado digital
- Almacenamiento digital de paciente
- Mayor rapidez de producción

Además, en comparación con los modelos impresos de forma tradicional, estos, puede inducir a errores de precisión por la técnica humana por pequeñas variaciones y pérdida de detalles. Son difíciles de modificar sin recrear la impresión de nuevo, lo que implica mayores incomodidades y a su vez en pérdidas y mayor uso de espacio de los modelos físicos, a diferencia del almacenamiento digital de los escáneres y su próxima impresión en 3D.

11.3.2 Prótesis fijas y removibles (parcial o completa)

“En la actualidad, a nivel mundial se fabrican 50 millones de prótesis dentales, aunque tan solo el 1% se desarrolla mediante la utilización de herramientas digitales. Además, la industria aún no cuenta con una cantidad importante de técnicos con capacidades avanzadas y la experiencia que requiere producir prótesis dentales impresas en 3D.” (Alves, 2021)

Muchas son las empresas que están desarrollando múltiples impresoras con diversas utilidades para la comodidad de los laboratorios, esforzándose en la calidad en los resultados y rapidez en la producción de prótesis dentales.

Para muchos pacientes, existe un rechazo al implante dental o cuando no es posible reparar o sanear el diente mediante empastes u otras afecciones, entonces, para volver a un correcto funcionamiento y estética para la estructura bucal, existen las prótesis removibles parciales (ausencia de algunas piezas dentales) o completas (ausencia total de piezas dentales). Una opción más accesible, siempre y cuando se complemente con una buena higiene bucal.

La prostodoncia como se mencionó anteriormente abarca una gran cantidad del mercado de impresoras 3D dentales, por el principal motivo de ser un proceso extenso, rutinario y repetitivo, que en muchas ocasiones un pequeño mal ajuste, puede provocar la pérdida total del proceso productivo. La impresión 3D promete desarrollar nuevas alternativas con las mismas funcionalidades del proceso tradicional de producción, desde la flexibilidad de sus resinas, durabilidad a temperaturas y golpes.

Las ofertas de las empresas del rubro están constantemente desarrollando nuevos modelos y materiales con el fin de perfeccionar los resultados y haciendo más eficientes los procesos en términos de tiempo y de costos.

Cabe mencionar que se recomienda SIEMPRE la utilización de materiales aptos para su uso por normativas ISO, seguros y no tóxicos, certificados por las organizaciones responsables en estándares de calidad para el uso en boca

Ventajas:

- Reducción de costes efectivos de producción
- Personalizables según necesidades específicas
- Menor tiempo de producción
- Mayor precisión y exactitud en la fabricación
- Materiales de alta calidad

Desventajas:

- Limitación técnica: Necesidad de escaneos y diseño de modelos
- Necesidad de una buena higiene oral y supervisión clínica
- Costo inicial de inversión y de capacitación significativa

11.3.3 Patrones de fundición

Otro proceso que para muchos laboratorios resulta tedioso y repetitivo, que, en ocasiones cualquier imperfección en un ajuste de una estructura esquelética o de cerámica arruina todo el resultado, en terminaciones de ajustes, color, estética y funcionalidad.

Bajo el diseño CAD/CAM se puede analizar la estructura, observar el ajuste y la funcionalidad del esqueleto requerido. Además, se pueden prototipar otros tipos de materiales en boca, para luego crear patrones de fundición a medida del paciente y su requerimiento, evitando los extensos procesos de prueba y error actuales.

Existen distintas resinas que son calcinables y resistentes a altas temperaturas para su utilización como moldes para prótesis parciales, coronas o puentes en grandes cantidades y al mismo tiempo ahorrando tiempos y costos.

Ventajas:

- Mayor precisión en resultados
- Versatilidad en la creación de estructuras (prótesis parciales, completas, puentes, etc.)
- Facilidad en ajustes y modificaciones, sin arruinar todo el proceso
- Ahorro en costos en pérdidas y material
- Eficiencias de tiempo de producción de varias estructuras a la vez

Desventajas

- Limitaciones de forma y tamaño en estructuras más complejas
- Extensos tiempos en diseño sin conocimientos del lenguaje
- Patrones de cera muy frágiles y se pueden dañar fácilmente.
- Necesidad de habilidades técnicas

Sin duda grandes facilidades entregan para los pequeños laboratorios y clínicas, los cuales pueden contar con mayores comodidades y versatilidad en cada impresora para los patrones de fundición, los cuales ahorran tiempo, otorgan mayor seguridad en la calidad de los resultados y ahorrando en costos a su vez.

11.3.4 Coronas y puentes

Para restauraciones de piezas dentales dañadas o faltantes existe la posibilidad de requerir una corona o un puente dental, el cual se realiza ante la ausencia de la pieza. Cada día existen más posibilidades de personalización de las piezas dentales en la reconstrucción con un alto detalle estético.

La impresión 3D en la actualidad ofrece nuevas soluciones con sus materiales a base de resina para el diseño y personificación, desde variedades de colores y texturas que ofrecen mayor realismo y estética para las sonrisas a menor costo, hasta mayor rapidez en la producción. Con el correcto proceso de curado, pulido y acabado con técnicas tradicionales.

Ventajas:

- Personalización de piezas al prototipar con más rapidez
- Mayor precisión en análisis digitales
- Producción automatizada en masa y rápida de coronas y puentes
- Variedad de materiales y colores para las piezas
- Reducción de residuos y pérdidas

Desventajas:

- Costo inicial considerable
- Algunos materiales no suelen ser tan duraderos
- Necesidad de habilidades técnicas
- Requerimiento de mayor regulación y estándares de materiales.

11.4 Ortodoncia

11.4.1 Alineadores y retenedores

Sin duda una de las maneras más rentables para sacar provecho a la tecnología de impresión en el área dental es en el tratamiento de ortodoncia. Siendo una de las aplicaciones más demandada por parte de pacientes y profesionales. La impresión 3D permite un flujo de trabajo de mayor rapidez en producción, otorgando grandes beneficios clínicos y económicos.

Para estos procedimientos no es necesario la utilización de un escáner intraoral. Los requerimientos de modelamiento pueden ser realizados bajo la impresión en yeso, apoyando procesos productivos, con un óptimo detalle y precisión que ofrecen la tecnología.

En caso de los alineadores, los cuales son dispositivos removibles y transparentes, la impresión 3D cuenta con materiales biocompatibles translucidos, los cuales brindan estética y funcionalmente su fin de corrección de problemas de alineación dental, como dientes apiñados, torcidos o separados, siempre y cuando lo recomiende el profesional.

Por otro lado, los retenedores o incluso los conocidos planos de relajación para situaciones de personas con bruxismos, se realizan luego de un tratamiento de recuperación o alineamiento como un tratamiento de ortodoncia, o independiente de este para su contención de la estructura del arco dental y evitar mayores fricciones producidas por bruxismo.

Para ambos tratamientos se requiere la producción de férulas personalizadas de la estructura de la boca del paciente con materiales que en la actualidad son seguros para su utilización y biocompatibles con los tejidos conexos a las piezas dentales.

La elaboración consta de los mismos procedimientos anteriores, únicamente se diferencia en los materiales, que en su mayoría son translucidos o transparentes para una mayor estética. La producción de estas férulas ofrece grandes beneficios para los profesionales del área al ofrecer la oportunidad de automatizar el procedimiento luego del diseño de cada estructura, se polimeriza automáticamente y se eliminan las impurezas de la estructura y queda lista para su uso en boca del paciente.

Muchos dentistas afirman que es una de las alternativas que más utilizan actualmente para obtener beneficios de la inversión de la impresora, estos son productos que se pueden automatizar, producir varios a la vez y los resultados de la impresora poseen mínimas imperfecciones producto de los pilares de apoyo por la impresión de la pieza.

Ventajas:

- Altamente precisos y personalizables
- Más delgados y cómodos, producen menos molestias en boca e irritación
- Son removibles, facilitan la higiene bucal
- Rapidez en la producción
- Automatización de producción

Desventajas:

- Costo inicial considerable
- Necesidad de habilidades técnicas
- Durabilidad de ciertos materiales
- Regulaciones y normativas exigidas en términos de calidad.

12 Proveedores Tecnología 3D en Chile

Actualmente hay un sin número de modelos y marcas que desarrollan impresoras 3D en la industria dental, de las cuales se deben tener en consideraciones múltiples aspectos, entre ellos la innovación tecnológica, facilidad en uso, complejidad en los resultados, costos y evidentemente el tiempo de retorno de la inversión según la demanda que se presente en el laboratorio o clínica dental.

Hemos analizado distintas limitaciones a la hora de invertir e integrar este tipo de tecnología digital en los procesos tradicionales de confección de estructuras de recuperación o restauración funcional y estética bucal. Desde considerables costos de inversión inicial de la impresora ideal, conocimientos técnicos de diseño CAD/CAM, adquisición de un software adecuado según el nivel de demanda, nuevos materiales y aplicaciones de las impresoras 3D en la industria dental.

Se describirán algunos modelos de las tecnologías más utilizadas en el desarrollo de estructuras con distintos aspectos de gran utilidad para su análisis:

12.1 Formlabs Form3B+

Se utiliza la “estereolitografía de bajo esfuerzo” (LFS) una tecnología desarrollada y patentada por la marca Formlabs. El procedimiento de impresión consta con pequeñas diferencias de los métodos más conocidos. Es un tipo de impresión 3D donde se introduce en material resinoso en un tanque flexible, a diferencia de los otros métodos de un tanque rígido. Esta peculiaridad ayuda a reducir las fuerzas de desprendimiento en las capas, lo que ofrece una calidad en las piezas más precisas y fuertes.

La intensidad del láser (nivel de galvos) es reducida, la cual permite un rebote de los láseres de tal forma que optimiza el detalle de los resultados al polimerizar la resina.

Las ventajas potenciales de la LFS:

- Menos distorsión
- Mejor adhesión
- Superficies más suaves
- Menor desgaste de la máquina

“La Form 3B+ se ha validado con procesos de trabajo aprobados por la Administración de Medicamentos y Alimentos Americana (FDA). También es compatible con una amplia gama de materiales biocompatibles y esterilizables fabricados en instalaciones registradas en la FDA y que cuentan con certificación ISO 13485” (Formlabs, 2019)

Form3B+



Modelo	Form3B+
Marca	Formlabs
Software	Freeform
Operación	Panel táctil de 5,5 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB
Tecnología	Estereolitografía de bajo esfuerzo (LFS)
Resolución	25 – 300 µm
Fuente de poder	220 mW 100–240 V ~ 2,5 A 50/60 Hz
Velocidad de impresión	No entrega
Tamaño	40,5 x 37,5 x 53 cm
Volumen impresión	14,5 x 14,5 x 18,5 cm
Peso	17,2 kg
Temperado de resina	NO
Requiere post curado	SI
Garantía	1 año extensible
Otras características	- Alertas de pantalla táctil - Generación de soportes automático - Automatización de procesos - Estanque flexible - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm
Precio CLP	\$5.452.000 + IVA

Tabla 5. Descripción técnica modelo Form3B+

La empresa presenta un sistema Open Platform, un sistema abierto para potenciar la innovación en la sanidad, ofreciendo la capacidad de realizar avances innovadores. Los ajustes de impresión personalizables y la capacidad de utilizar cualquier resina fotopolimerizable de 405 nm. No restringe su uso a materiales ni softwares externos.

Cuentan con ayuda de profesionales por múltiples vías, para asesorar, aconsejar y proporcionar ayuda humana y útil cuando la necesiten con planes que se adaptan al negocio. Entre estos el sitio web ofrece distintas estimaciones sobre la inversión a realizar, desde análisis sobre la demanda esperada, tiempos de recuperación de la inversión, tiempos de reducción de procesos en comparación con el método tradicional, y costos por piezas, todo dentro de márgenes aproximados que son de gran utilidad para la elección de la impresora 3D ideal.

Formlabs ofrece distintos valores los cuales varían dependiendo de los años de garantía, pack iniciales o promocionales y la adquisición de otros productos como el FormCure y/o FormWash

12.1.1 FormWash

La tecnología utilizada para la limpieza de las imperfecciones se encarga de agitar las impresiones con precisión en el alcohol isopropílico. Cuando se completa el lavado, la máquina extrae automáticamente las piezas del alcohol isopropílico, evitando exposiciones excesivas en el baño y evitar deformaciones. Luego las piezas se secan al aire libre, listas para su utilización.

Cuenta con un hidrómetro para comprobar la saturación del alcohol utilizado, almacenamiento detrás de la cubeta de lavado para mantener en orden las herramientas o estructuras.

12.1.2 FormCure

Según el procedimiento de impresión, necesariamente se requiere de un tratamiento post procesado, el cual consta de un proceso de fotopolimerización, el cual se recomienda que se realice con sumo cuidado. Las piezas impresas en resina suelen ser muy frágiles y para una optimización de las propiedades de los materiales de fortalecimiento, elasticidad o durabilidad se requiere de un tratamiento de curado externo.

Formlabs ofrece el modelo FormCure que utiliza ajuste de tiempo y temperatura para obtener un rendimiento óptimo, precalienta la temperatura, proporciona un post curado uniforme con la plataforma giratoria a una gran velocidad y de alta intensidad.

12.1.3 Materiales Formlabs

Como se mencionó previamente, Formlabs cuenta con una gran variedad de materiales y sigue desarrollando nuevos productos y con nuevas propiedades. La tecnología no cuenta con restricciones, y ofrece un uso libre de sus materiales en otras impresoras y viceversa.

A continuación, una abreviada reseña de los distintos materiales que ofrece la empresa:

12.1.3.1 *Model Resin*

Material de impresión rápida para la producción de modelos de restauración de alta precisión, útil en modelos para coronas y puentes, recreación de implantes, para ortodoncia y diagnóstico.

12.1.3.2 *Draft Resin*

Material para la creación de prototipos, imprime hasta cuatro veces más rápido que las resinas estándar, ideal para prototipos iniciales, demostraciones en directo de impresión 3D, aplicaciones de alto rendimiento en modelamiento.

12.1.3.3 *Surgical Guide Resin (Biocompatible)*

Material desarrollado y cumple con las normas ISO 10993, 13485 y 14971. Material diseñado con el objetivo de producir de manera precisa las dimensiones de las guías quirúrgicas para implantes dentales.

12.1.3.4 *Dental LT Clear Resin (V2 Biocompatible)*

Imprime directamente férulas oclusales de alta calidad, con gran durabilidad y resistencia a las fracturas, se pule hasta una gran transparencia óptica y resiste a la decoloración.

12.1.3.5 *Castable Wax Resin*

Material bajo ensayos exhaustivos de altas temperaturas, es ideal para patrones de fundición de cofias y subestructuras, armazones de prótesis parciales extraíbles y prensado y fundición de coronas de contorno completo.

12.1.3.6 *Custom Tray Resin (Biocompatible)*

Material de impresión rápido de cubetas de impresión personalizadas.

12.1.3.7 *Temporary CB Resin*

Resina de color de los dientes para imprimir restauraciones temporales de coronas y puentes de hasta 7 piezas y disponible en 5 tonalidades, pueden permanecer hasta 12 meses en boca. Para incrustaciones ilnay, onlay y carillas.

12.1.3.8 Permanent Crown Resin (Biocompatible)

Material que produce restauraciones muy resistentes de larga duración con un ajuste adecuado. Adecuado para restauraciones permanentes de coronas, puentes, incrustaciones inlay, onlay y carillas. Desarrollado en base a la normativo ISO 10993, 13485 y 14971.

12.1.3.9 IBT Resin (Biocompatible)

Material flexible desarrollado para ofrecer una flexibilidad eficiente y precisa de brackets dentales, reducen el tiempo de consulta y aumentan la comodidad del paciente. Desarrollado en base a la normativo ISO 10993, 13485 y 14971.

Material	Peso	Costo CLP	URL
Model Resin	1 kg	\$199.756	https://siromax.cl/
Draft Resin	1 kg	\$199.756	
Surgical Guide Resin	1 kg	\$378.727	
Dental LT Clear	1 kg	\$524.214	
Castable wax Resin	1 kg	\$256.334	
Custom Try Resin	A pedido		
Temporary Resin	A pedido		
Permanent Crown Resin	1 kg	\$1.356.933	
IBT Resin	1 kg	\$386.714	

Tabla 6. Análisis de costos de materiales Formlabs

12.1.4 Procesos productivos y costos

Formlabs entrega en su sitio web distintas estimaciones ROI, estimaciones del rendimiento sobre la inversión a realizar, ciertos datos acreditados por la empresa son:

Material	Cantidad	CLP c/unitario	Tiempo
Modelos de ortodoncia	9	\$1.974	1 hora
Modelos coronas y puentes	4	\$4.051	2,5 horas
Férulas oclusales	8	\$2.932	2,5 horas
Guías quirúrgicas	9	\$1.203	4 horas 15 min
Restauraciones temporales	15	\$1.203	1 hora 15 min
Coronas permanentes	58	\$1.974	4,5 horas
Bases de prótesis	8	\$5.217	12 horas
Dientes de prótesis	8	\$2.632	5 horas
Máscaras gingivales	15	\$338	4,5 horas

Tabla 7. Análisis de tiempos de procesos y costos asociados al modelo Form3B+

Los valores de la tecnología:

Tecnología	Valor USD	Valor CLP	URL
Form 3B+	\$5.800 + IVA	\$5.452.000 + IVA	https://siromax.cl/
FormWash	\$1.100 + IVA	\$1.034.000 + IVA	
FormCure	\$1.400 + IVA	\$1.316.000 + IVA	
TOTAL	\$8.300 + IVA	\$7.802.000 + IVA	

Tabla 8. Resumen de inversión de maquinaria Formlabs

Previo al proceso de diseño, viene la preparación de la impresión, esto se lleva a cabo acomodando en la plataforma de manera digital las estructuras. Para el análisis de su sistema de impresión, un ejemplo en la FormB3+ con 8 semi arcos y modelos de estudio con la Model Resin.

La siguiente imagen refleja la preparación de 8 modelos con el material de Model Resin, podemos evidenciar la información valiosa que nos entrega esta impresora, desde la cantidad de material, tiempos, cantidad de capas y el grosor de capas.

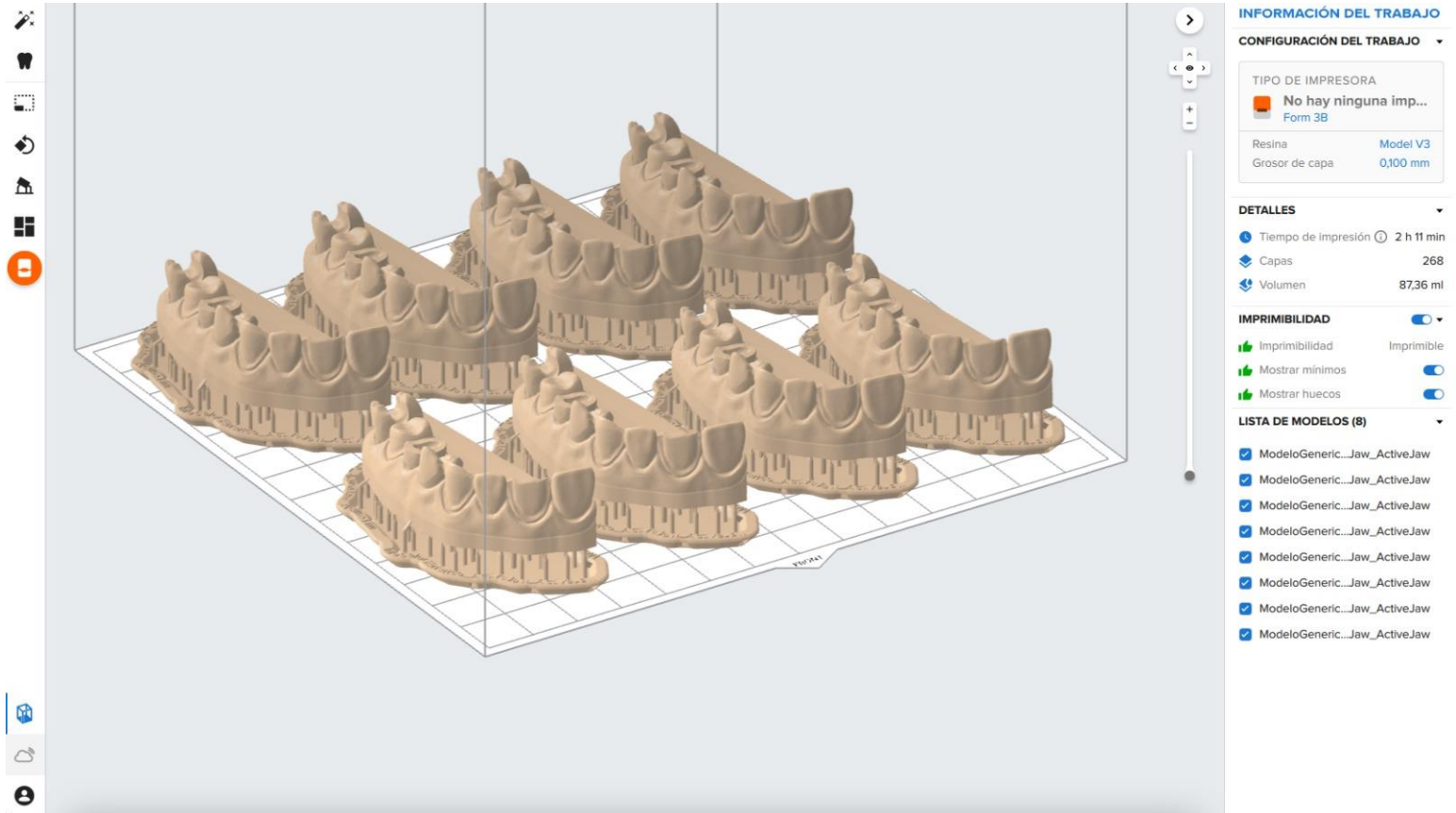


Figura 8. Información de preparación de impresión Preform

12.1.5 Proveedor en Chile de Formlabs

Un proveedor en Chile de productos de Formlabs se encuentra en la Región Metropolitana, Siromax, una empresa con vasta experiencia en planificación, venta y post venta de equipos odontológicos. Uno de los principales actores con tecnologías en 3D en Chile para la industria dental digital, además de productos de Formlabs, cuenta con una línea de restauraciones de Dentisply Sirona CEREC, anteriormente mencionada en el desarrollo de softwares, equipos radiológicos, impresoras 3D, materiales y mucho más. Presente en Estoril 50, Of 1007, Las Condes, Región Metropolitana.

Los valores entregados aproximados son de la siguiente empresa distribuidora y revendedora acreditada por Formlabs en Chile.

Proveedor	URL
Siromax	https://siromax.cl/

12.2 Phrozen Sonic 4K mini

Phrozen es una marca especializada en la fabricación de impresoras 3D y resinas para impresión en tres dimensiones. La compañía se fundó en 2016 y desde entonces se ha destacado en la industria de impresoras por la calidad y la innovación de sus productos.

La empresa ofrece una variedad de modelos para satisfacer las necesidades diferentes de los usuarios, desde impresoras 3D básicas, para principiantes hasta modelos avanzados para aplicaciones industriales y profesionales.

Las resinas que ofrecen poseen distintas propiedades que se pueden aplicar en variadas industrias, tanto en prototipos, joyería, arquitectura y odontología.

Especialmente existe un modelo que en Chile es uno de los más conocidos, la Phrozen Sonic 4K mini, gracias a su gran reputación en la calidad de la marca, la innovación del modelo, que pese a ser un poco más antiguo, sigue siendo el favorito para los que desean iniciar en el mundo de la odontología digital, accesible y con grandes resultados comprobados por su calidad.

Todas las impresoras de la marca Phrozen ofrecen un sistema de código abierto, lo cual permite la utilización de cualquier variedad de resina, ya sea de la marca, como de otras compañías, esto sumado al software que utilizan los modelos de Phrozen Sonic, entrega predeterminados los distintos ajustes de la resina, sus parámetros y propiedades, cabe mencionar que, los resultados pueden variar dependiendo de los ajustes a las cualidades de las resinas, donde se debe aclarar que cada modelo presenta distintos ajustes y algunas resinas utilizadas en código abierto deben ser correctamente ajustadas para su uso.

Se destacarán distintas propiedades de utilidad para la inversión en comparación con el modelo Sonic 4k 2022 y Sonic 4k mini, principalmente al ser 2 modelos de impresoras 3D que son los más solicitados en Chile para quienes inician en la odontología digital.

Sonic 4K 2022



Sonic 4K Mini



Modelo	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini
Marca	Phrozen	Phrozen
Software	Phrozen OS, ChituBox	Phrozen OS, ChituBox
Operación	Panel táctil de 5 pulgadas	Panel táctil de 2,8 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB	USB
Tecnología	SLA - LCD	SLA - LCD
Resolución	35 μm	35 μm
Fuente de poder	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad de impresión	90 mm / hr	80 mm / hr
Tamaño	28 x 28 x 46,5 cm	23 x 23 x 34 cm
Volumen impresión	13,4 x 7,5 x 20 cm	13,4 x 7,5 x 13 cm
Peso	14,9 kg	5 kg
Temperado de resina	SI	NO
Requiere post curado	SI	SI
Garantía	1 año extensible	3 meses
Otras características	- Ofrece impresión con resolución 4K a 35 μm - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm - Posee un calentador de resina que optimiza su impresión - Capacitación inicial digital por parte del distribuidor	- Ofrece impresión con resolución 4K a 35 μm - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm - Una de las impresoras mejor evaluadas actualmente
Valor CLP	\$1.676.400 + IVA	\$399.150 + IVA

Tabla 9. Descripción técnica modelos Sonic 4K 2022 y 4K Mini

Existen distintas diferencias del modelo Sonic 4K 2022, el cual presenta:

- Operación de pantalla táctil de mayor tamaño
- Conectividad vía wifi, Ethernet
- Mayor tamaño y peso
- Variación de 7 cm de altura en el volumen de impresión
- Garantía extensible
- **Temperado de resina**

Este último punto es uno de los más considerables para el análisis, la capacidad de la Sonic 4K 2022, posee las herramientas con la capacidad de calentar la resina a temperaturas específicas, lo cual ofrece mejores resultados y acabados de la impresión.

Sin embargo, pese a las especificaciones de las tecnologías, los principales inconvenientes son la única entrada en formato USB de los archivos y la extensión de la garantía. Para principiantes y en el sector dental es fundamental contar con garantías y comodidades de los procesos, aun así, la Sonic 4K Mini es mucho más conveniente y con especificaciones notables en relación con su precio y los modelos más actuales.

La altura de las estructuras dentales no es un factor muy importante, debido a que la mayoría de las prótesis o modelos no superan más de 7 cm su lado de mayor tamaño.

Ambos procedimientos poseen un tipo de tecnología LCD de impresión 3D, un respectivo cuidado, curado y limpieza de la estructura impresa, innumerables modelos de distintas marcas ofrecen máquinas y herramientas, que unifican los procesos en una sola tecnología como la Creality UW-02

12.2.1 Creality UW-02

Este modelo es una máquina de curado y lavado todo en uno. Ofrece una limpieza programada y automática integradas con el modelo impreso en 3D y además cura las piezas controlado por luz ultravioleta, controlando la velocidad y el tiempo con precisión para la obtención de óptimos resultados.

12.2.2 Materiales Phrozen y Prizma

Innumerables marcas ofrecen insumos de resinas fotopolimerizables, entre las más populares utilizadas son Phrozen y Prizma, entre otras.

12.2.2.1 *Phrozen Dental Model Ivory*

Está diseñado para minimizar la contracción y lograr una impresión de alta precisión. El bajo índice de deformación y la buena estabilidad dimensional la hacen especialmente adecuada para imprimir piezas precisas de modelos dentales.

12.2.2.2 *Phrozen Aqua Gray 4K*

Resina para exhibir modelos 3D en alta resolución y extremadamente complejos en las Sonic 4K al poseer la resolución 4K, este material optimiza los resultados de resolución gracias a sus propiedades.

12.2.2.3 *Phrozen Lavable Gray*

Diseñadas para limpiarse fácilmente con agua, las resinas lavables con agua Phrozen son resistentes, duraderas, imprimen con velocidad y funcionan perfectamente con impresoras 3D para principiantes.

12.2.2.4 *Prizma Bio Crown*

Es una resina compuesta nano híbrida Biocompatible Clase II, que contiene en su composición cerámica silanizada y zirconia, elementos que brindan la calidad superior necesaria para el desarrollo de trabajos con coronas, puentes, inlays y onlays.

12.2.2.5 *Prizma Bio Prov*

Recomendada para impresión 3D de prototipos de coronas y maquetas temporales, siendo una resina biocompatible y aprobada por ANVISA.

12.2.2.6 *Prizma Bio Guide*

Bio Guide es una resina Biocompatible de Clase II, indicada para impresión 3D de guías quirúrgicas para implantes, reparación gingival, canales para cirugías ortognáticas y otros.

12.2.2.7 *Prizma Castable*

Castable 3D es una resina adecuada para la impresión 3D de modelos de fundición e inyección, y también se puede utilizar para metales y disilicato de litio.

12.2.2.8 Prizma Bio Splint

Prizma BIO 3D es un material biocompatible apto para la impresión 3D de todo tipo de retenedores (férulas) y placas relajantes musculares con alta durabilidad, dureza y resistencia mecánica

Material	Peso	Valor CLP	URL
Phrozen Dental Model Ivory	1 kg	\$89.000	Denteeth
Phrozen Aqua Gray 4K	1 kg	\$49.000	3Dental
Phrozen Lavable Gray	1 kg	\$49.000	Denteeth
Prizma Bio Crown	250 gr	\$179.000	Biotech
Prizma Bio Prov	250 gr	\$94.900	Denteeth
Prizma Bio Guide	1 kg	\$179.000	Biotech
Prizma Castable	500 gr	\$79.500	Biotech
Prizma Bio Splint	500 gr	\$99.900	Biotech

Tabla 10. Análisis de costos de materiales Phrozen y Prizma

12.2.3 Procesos productivos y costos

La compañía no entrega en detalle ejemplos de los costos y tiempos en la impresión en su página web.

Los valores de la tecnología:

Tecnología	Valor CLP	URL
Sonic 4K 2022	\$1.676.400 + IVA	https://3dental.cl/

Tecnología	Valor CLP	URL
Sonic Mini 4K	\$399.150 + IVA	https://makerschile.cl/
Creality UW-02	\$182.410 + IVA	https://makerschile.cl/
Total	\$581.560 + IVA	

Tabla 11. Resumen de inversión de maquinaria Phrozen

La comparación de valores y el propósito del análisis debido a las similitudes y la capacidad de impresión estima conveniente realizar las comparaciones con la Sonic Mini 4K, esto principalmente por poseer especificaciones bastante similares a su modelo “superior”.

Por otro lado, la asequibilidad en su valor del comercio, hasta 4 veces más económico. Un factor de suma importancia para quienes deseen experimentar y conocer más sobre la experiencia de imprimir en tres dimensiones, sin el riesgo de experimentar de una alta inversión y una compleja o lenta recuperación del capital.

12.2.4 Proveedor en Chile de Phrozen y Prizma

Como se mencionó anteriormente, la tecnología creada por Phrozen ofrece impresoras 3D de código abierto, donde existen grandes variedades de insumos 3D que pueden ser utilizados y obtener resultados de gran calidad. Distintas empresas distribuidoras se encuentran en Chile, muchas de ellas recién están invirtiendo en la distribución de estos materiales, algunas de ellas son.

Proveedor	URL
Denteeth	https://denteeth.cl/solucionesdigitales/
Biotech Chile	https://biotechchile.cl/
3Dental	https://3dental.cl/
Makers Chile	https://makerschile.cl/

Tabla 12. Proveedores de insumos y maquinaria Phrozen

12.3 Anycubic Photon Mono M5s – 12K

En el mundo del desarrollo de impresoras 3D, Anycubic ha impactado en el mercado y ha creado competencia a distintas otras marcas más reconocidas a nivel mundial. Se caracterizan principalmente por su código abierto (compatibilidad con cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm) y su reconocimiento por grandes avances en la calidad de sus resultados y principalmente por su gran accesibilidad a lo largo de todo Chile

Anycubic es una marca que se caracteriza y ha obtenido una gran reputación por sus impresoras 3D de resina, que son populares en aplicaciones que requieren alta precisión y detalles finos, como la creación de modelos para la industria del cine, la joyería y la odontología, entre otros.

El modelo Photon Mono M5s – 12K es una de las impresoras más reconocida y también premiada como “TOP OPCIÓN DE ALL3DP: MEJOR IMPRESORA 3D DE RESINA DE TAMAÑO MEDIANO, PARA PRINCIPIANTES Y DE MENOS DE 1.000€ 2023 (Anycubic, 2023). El modelo cuenta con una gran variedad de materiales de resina y de código abierto para experimentar con otros softwares y materiales de otras compañías.

Pese a no ser reconocida como una impresora profesional para el rubro dental y ser considerada una impresora 3D de “escritorio”, muchos laboratorios principiantes han experimentado y comenzado con modelos de impresoras más económicos y de código abierto para aprender más sobre las configuraciones, limitaciones y propiedades que entrega esta tecnología en tres dimensiones

Photon Mono M5s – 12K



Modelo	Photon Mono M5s – 12K
Marca	Anycubic
Software	Anycubic Photon Workshop 3.1
Operación	Panel táctil de 4,3 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB
Tecnología	SLA - LCD
Resolución	19 - 24 μm
Fuente de poder	AC110-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad de impresión	105 mm / hr, 70 mm / hr
Tamaño	29 x 27 x 46 cm
Volumen impresión	21,9 x 12,3 x 20 cm
Peso	8,9 kg
Temperado de resina	NO
Requiere post curado	SI
Garantía	1 año extensible
Otras características	- Precisión de impresión en 12K (11.520 x 5.120 píxeles) - Nivelación automática - 3 veces mayor velocidad de impresión - Detección de resina y calibración automática - Aplicación móvil con información del estado de la impresión y alertas - Código abierto a cualquier resina foto polimerizable a 405 nm
Precio CLP	\$ 620.000 + IVA

Tabla 13. Descripción técnica modelo Photon Mono M5s- 12K

La empresa principalmente se dirige a nichos de clientes que buscan la entretención, el arte, las esculturas, entre otras aplicaciones del tipo de impresora de “escritorio”. Ha ampliado su mercado a otras industrias, pero actualmente sigue liderando el mercado de impresoras de uso cotidiano, del hogar o de entretención.

Sin embargo, sus especificaciones y su compatibilidad con otro tipo de resinas, algunas biocompatibles puede resultar un gran aliado para principiantes que deseen invertir en una impresora de excelentes resultados, accesible y con materiales, herramientas, repuestos más accesibles en Chile.

Según las especificaciones, en comparación con las demás impresoras especializadas en la industria “dental”, no presentan gran diferencia en aspectos técnicos, al hablar de la práctica o la puesta en marcha de la impresión, muchos laboratorios recomiendan su uso como prueba y error para perfeccionar la técnica y la obtención de los resultados.

La empresa ofrece un modelo de curado y lavado 2 en 1, para cualquier tipo de estructura.

12.3.1 Anycubic Wash & Cure 2.0

Este modelo de limpieza y curado 2 en 1 de Anycubic es una respuesta para complementar los resultados para cualquier trabajo de una impresora SLA, DLP o LCD. Además, es una máquina destacada en su categoría, con un precio asequible, es un instrumento de fácil uso e instalación.

Existe una tendencia en el aumento de variedades de modelos que ofrecen el curado y lavado en una sola máquina e independiente de la complejidad de las estructuras impresas, los resultados son de alta calidad y mantienen las propiedades óptimas, siempre y cuando la configuración de las resinas en las impresoras sean las correctas.

12.3.2 Materiales Anycubic y Keysplint

Pese a que sus modelos de impresoras 3D, no son consideradas especialistas en el área dental, la marca cuenta con distintos materiales biocompatibles y de gran utilidad para esta área:

12.3.2.1 *Anycubic High Speed Grey*

La baja viscosidad y alta actividad contribuyen a disminuir la exposición y el tiempo de curado, logrando un tiempo de impresión de 3 veces más rápido que otras impresoras. Se puede utilizar para la rápida producción de modelos dentales y otras aplicaciones. (No es biocompatible)

12.3.2.2 *Anycubic Castable Green*

La resina garantiza la resistencia de las piezas moldeadas y no una contracción excesiva para patrones de fundición, también mejora la velocidad de impresión, acorta el tiempo de curado y mejora la eficiencia de impresión de las máquinas LCD tanto como sea posible.

12.3.2.3 *Anycubic Non-Castable*

Resina fotosensible UV para Impresoras 3D, rápida impresión, compatible con todas las impresoras de resina UV. Es ideal para el modelado.

12.3.2.4 *KeyPrint KeySplint (Biocompatible)*

Es biocompatible y cumple con las regulaciones y estándares internacionales de dispositivos médicos para la producción de férulas. Su formulación tiene tres años de vida útil garantizada, su color es estable y está validada en múltiples impresoras de código abierto.

12.3.2.5 *KeyPrint Guide (Biocompatible)*

Es ideal para fabricar guías quirúrgicas transparentes, lo que permite a los médicos colocar implantes en un ángulo y profundidad con más precisión.

Material	Peso	Valor CLP	URL
Anycubic High Speed Grey	1kg	\$46.138	Mercado3D
Anycubic Castable Green	500 gr	\$59.990	Mas3D
Anycubic Non-Castable	500 gr	\$66.490	MakersChile
KeySplint	1kg	\$498.000	3Dental
KeyGuide	1kg	\$289.000	3Dental

Tabla 14. Análisis de costos de materiales Anycubic y Keysplint

12.3.3 Procesos productivos y costos

La compañía no entrega en detalle ejemplos de los costos y tiempos en la impresión en su página web.

Por otro lado, en caso de ejemplo, el panel de control de la impresora nos entrega la información preliminar de la estructura a imprimir y los continuos cambios en escalas de 0% a 100% del proceso.

La imagen se observa la fase preliminar de la impresión de un modelo de prueba que nos entrega Anycubic para testear con la resina de alta velocidad, específicamente a 105 mm / hr. El panel nos muestra la cantidad de capas (estimada por 10 micras), la densidad, la cantidad utilizada y el tiempo que tarda.



Figura 9. Información de operación de impresión Photon Mono 5S – 12K

Los valores de la tecnología:

Tecnología	Valor CLP	URL
Photon Mono M5s - 12K	\$620.000 + IVA	https://www.todotoner.cl/
Wash & Cure 2.0	\$159.650 + IVA	https://www.damus.cl/
Total	\$779.650 + IVA	

Tabla 15. Resumen de inversión de maquinaria Anycubic

12.3.4 Proveedor en Chile de Anycubic

Al no ser considerada una impresora para la industria dental y ser considerada como una impresora de “escritorio”, existen muchos más distribuidores de este modelo y de otros de la marca y similares, únicamente se considerarán algunos distribuidores de insumos de material dental de la marca Anycubic y similares.

Proveedor	URL
3Dental	https://3dental.cl/
Makers Chile	https://makerschile.cl/
TodoToner	https://www.todotoner.cl/
Mas3D	https://www.mas3d.cl/
Damus	https://www.damus.cl/

Tabla 16. Proveedores de insumos y maquinaria Anycubic

12.4 Materiales indispensables

La mayoría de las impresoras ofrecen kits básicos de materiales y herramientas para su correcto uso y tratamiento, estos son:

12.4.1 Alcohol isopropílico (IPA)

El alcohol isopropílico es ideal para limpiar los restos de resina líquida depositada en la superficie de la estructura, las tecnologías presentadas requieren de un tratamiento de post curado y limpieza, donde el alcohol isopropílico es indispensable.

12.4.2 Equipo de post curado

Luego de realizar la impresión, se requieren distintos implementos como espátulas, guantes, entre otros para retirar la estructura de la plataforma. La pieza impresa es muy delicada y sensible a cualquier alteración y se recomienda siempre mantener el área y la maquinaria utilizada lo más limpia posible, para evitar imperfecciones o deformaciones en la impresión.

12.4.3 Pantallas LCD

Es muy común que las pantallas LCD utilizadas en los procesos de impresión 3D por la emisión de la luz LED que fotopolimeriza la estructura se averíe y requiera un cambio. Su valor varía dependiendo del modelo y es un costo para considerar en las impresoras 3D que utilizan este método.

12.4.4 Instrumentos adicionales

Necesariamente para obtener mejores resultados, se deben combinar las técnicas convencionales de pulidos, acabados y de producción. Estos incluyen los instrumentos utilizados actualmente en el laboratorio dental. Estos como motores, cofias, hornos de fundición, prensas, dientes artificiales, ceras, etc.

12.5 Otras empresas distribuidoras de insumos 3D en Chile

Existen otras marcas y tiendas distribuidoras de productos o tecnologías para impresoras 3D presentes en Chile, estas en su mayoría son conocidas por los profesionales de la industria convencional dental y poseen el reconocimiento de brindar tecnología de punta, están ofreciendo nuevas alternativas que apoyen los procesos y a su vez otras, específicamente Formlabs y Stratasys, que cuentan con una extensa carrera en el desarrollo de este tipo de tecnología 3D y se están especializando para la industria dental.

No se realiza el detalle de las innumerables marcas y modelos presentes a lo largo de todo el mundo, los costos de envío, asistencia al cliente en otro idioma y tiempos de respuesta. En ocasiones, el acceso a materiales importados presenta tiempos de larga duración, lo cual entorpecerán más que favorecerán el análisis, si desea más información, a lo largo del estudio se detallaron las empresas líderes y más populares en la industria dental en Chile.

En Chile, algunas empresas poseen convenios en distribución exclusiva o empresas emergentes en la industria 3D dental, algunas son:

Marca	Contacto	Oficinas
Siromax	http://siromax.cl/	Santiago
Stratasys	https://www.stratasys.com/	Santiago
Denteeth	https://denteeth.cl/	Santiago, Concepción
Biotech	https://biotechchile.cl/	Santiago, Viña del Mar
Techdent	https://techdent.cl/	Santiago
Expressdent	https://expressdent.cl/	Santiago
3Dental	https://3dental.cl/	Santiago
Damus	https://www.damus.cl/	Santiago

Tabla 17. Otras empresas en Chile distribuidoras de insumos y maquinaria 3D

13 Método convencional

13.1 Caso práctico “Micro Laboratorio Dental HUMSEAL”

Para el análisis de prefactibilidad se mencionará y describirá el caso práctico de una microempresa “HUMSEAL”. Un Laboratorio Dental con más de 30 años de experiencia utilizando métodos convencionales de producción, realiza sus labores principalmente en la quinta región de Valparaíso, Chile.

Toda la información entregada es verídica y facilitada por el laboratorista dueño del laboratorio, el cual, nunca ha tenido una experiencia con las impresoras 3D y está interesado en el análisis de prefactibilidad para poder implementar e integrar en la realización de sus labores.

Se mencionarán los tiempos de proceso aproximado, costo de materiales y maquinaria utilizada. El objetivo es comparar las distintas técnicas, materiales, costos y presupuestos con el fin de resultar de guía para otros laboratorios y sus distintos requerimientos.

13.2 Contexto

El laboratorio “HUMSEAL” posee más de 30 años de experiencia utilizando técnicas de fresado convencional y tradicional. La totalidad de trabajos realizados actualmente son de un 80% del sector público (programas de consultorios) y 20% privado (clínicas dentales).

Cabe mencionar que la mayoría de los materiales y maquinaria utilizada es adquirida en ciudades de Chile: Santiago, Viña del Mar y Valparaíso. Otros costes de envío a otras regiones no serán considerados.

El laboratorio se dedica principalmente en la realización de prótesis acrílicas y metálicas removibles, estas últimas son las que mayor tiempo y dedicación se requieren en el proceso de elaboración. Además, se realizan coronas, puentes, férulas y otros en menor cantidad.

13.3 Prótesis dentales acrílicas

Este procedimiento llevado a cabo por el laboratorio estima tiempos y costos aproximados tanto para prótesis acrílicas completas o parciales.

Por otro lado, es una estimación en la realización de 1 prótesis acrílica, se debe tener en consideración las múltiples tareas y procesos paralelos que llevan las labores del laboratorio y centro dental. No se toma en consideración los viajes al dentista, únicamente son los tiempos aproximados de manufactura.

Evaluación (1 hora)

- 1) Primer viaje al dentista en busca de la impresión de la boca del paciente
- 2) Se realiza el vaciado para el modelamiento anatómico de la impresión en yeso piedra
- 3) Realización de cubeta funcional individual para prótesis parcial o completa
- 4) Segundo viaje al dentista para comprobar funcionalidad

Preparación (1 hora 15 min)

- 5) Tercer viaje al dentista en busca de la impresión definitiva (y decisión de tipo de prótesis)
- 6) Se realiza vaciado definitivo
- 7) Ubicar retenedores y estructura base
- 8) Se realizan rodetes de altura para simular la relación intermaxilar (líneas de relación)
- 9) Cuarto viaje al dentista para comprobación

Diseño (30 min)

- 10) Quinto viaje al dentista en búsqueda del modelo con la información de color y tamaño de las piezas dentales
- 11) Se realiza en enfilado (colocación de piezas dentales) y el molde de la prótesis usando el modelo dental con cera rosada
- 12) Sexto viaje al dentista para comprobación y ajuste

Transformación y polimerización (método de muflas, 1 hora 30 min)

- 13) Séptimo viaje al dentista a buscar el modelo
- 14) Se realiza la transformación cera-acrílico
- 15) Se realiza un proceso de prensa con muflas de la pasta del acrílico con monómero
- 16) Se realiza la polimerización y termoformado del acrílico (varían los tiempos del procedimiento dependiendo del método utilizado)

- 17) Se alinean las piezas dentales y ajustan correctamente en relación con los dientes naturales del paciente y funcionalidad de la mordida.

Acabado y pulido (30 min)

- 18) Se realizan procedimiento de acabado y pulido para embellecer la estructura y simular la textura bucal y estética.
- 19) Octavo viaje al dentista

Terminación

- 20) Se realiza la prueba en boca del paciente para verificar ajuste, comodidad y función.
- 21) Si es necesario se realizan ajustes adicionales

Equipo utilizado:

Maquinaria	Materiales	Costos adicionales
Articuladores	Yeso piedra	Luz
Presurizadores	Cera de modelado	Agua
Prensa	Acrílico	Gas
Máquinas de acabado y pulido	Dientes artificiales	Depreciaciones
Equipos de polimerización	Monómero	Transporte
	Alambres	
	Accesorios	

Tabla 18. *Equipo e insumo utilizado para confección de prótesis acrílica*

Cabe mencionar que todos los viajes al dentista y las pruebas en la boca de los pacientes son programados y todo el procedimiento puede tardar semanas en su terminación.

13.4 Prótesis dentales metálicas

A diferencia en la confección de la prótesis acrílica, debe existir un paso previo que consiste en la fundición y creación de una estructura metálica, esto brinda mayor resistencia, durabilidad y complejidad en los resultados.

Evaluación (1 hora)

- 1) Primer viaje al dentista en busca de la impresión de la boca del paciente
- 2) Se realiza el vaciado para el modelamiento anatómico de la impresión en yeso piedra
- 3) Realización de cubeta funcional individual para prótesis parcial o completa
- 4) Segundo viaje al dentista para comprobar funcionalidad

Preparación (5 horas y 30 min)

- 5) Tercer viaje al dentista en busca de la impresión definitiva (y decisión de tipo de prótesis)
- 6) Se realiza vaciado definitivo
- 7) Se realiza el diseño de la base metálica por dentista o laboratorio con estudios de torques, de fuerzas, palancas y masticatorios
- 8) Se realiza el duplicado del modelo diseñado anteriormente, con un material refractario de alta temperatura (material agar agar o silicona)
- 9) Luego se endurece el modelo duplicado y se procede a confeccionar o tallar con cera para crear la estructura
- 10) Se anilla la estructura y se colocan bebederos para el paso del metal en la fundición
- 11) Se funde la estructura evaporando la cera y agregando el metal Cromo-Cobalto
- 12) Se deja enfriar y se retira el material refractario.
- 13) Se retiran los bebederos, se limpian impurezas y se pule la estructura
- 14) Se realizan rodets de altura para simular la relación intermaxilar (líneas de relación)
- 15) Tercer viaje al dentista a comprobar funcionalidad ajuste.

Este procedimiento es de sumo cuidado, debido a los largos tiempos de proceso y fundición. Cualquier error humano, desde la impresión del dentista de la boca del paciente a cualquier grieta o fallo en la fundición puede arruinar todo el procedimiento y comenzar todo de nuevo.

Diseño (40 min)

- 1) Quinto viaje al dentista en búsqueda del modelo con la información de color y tamaño de las piezas dentales

- 2) Se realiza en enfilado (colocación de piezas dentales) y un molde de la prótesis usando el modelo dental con cera y la base metálica
- 3) Sexto viaje al dentista para comprobación y ajuste

Transformación y polimerización (método de muflas, 1 hora 30 min)

- 4) Séptimo viaje al dentista a buscar el modelo
- 5) Se realiza la transformación cera-acrílico con estructura fundida
- 6) Se realiza un proceso de prensa con muflas de la pasta del acrílico con monómero
- 7) Se realiza la polimerización y termoformado del acrílico (varían los tiempos del procedimiento dependiendo del método utilizado)
- 8) Se alinean las piezas dentales y ajustan correctamente en relación con los dientes naturales del paciente y mordida.

Acabado y pulido (30 min)

- 9) Se realizan procedimiento de acabado y pulido para embellecer la estructura y simular la textura bucal y estética.
- 10) Octavo viaje al dentista

Terminación

- 11) Se realiza la prueba en boca del paciente para verificar ajuste, comodidad y función.
- 12) Si es necesario se realizan ajustes adicionales

Equipo utilizado:

Maquinaria	Materiales	Costos adicionales
Articuladores	Yeso piedra	Luz
Presurizadores	Cera de modelado	Agua
Prensa	Acrílico	Gas
Máquinas de acabado y pulido	Dientes artificiales	Depreciaciones
Equipos de polimerización	Monómero	Transporte
Horno de fundición	Alambres	
Baño electrolítico	Metal Cromo-Cobalto	
	Material refractario	
	Accesorios	

Tabla 19. Equipo e insumo utilizado para confección de prótesis metálica

13.5 Resumen costos, tiempo e inversión

Proceso	Prótesis Acrílica	Prótesis Metálica
Evaluación	1 hora	1 hora
Preparación	<u>1 hora y 15 min</u>	<u>5 horas y 30 min</u>
Diseño	45 min	45 min
Transformación	1 hora y 30 min	1 hora y 30 min
Acabado y pulido	30 min	30 min
Tiempo aproximado	5 horas	9 horas 15 min

Tabla 20. Resumen de tiempos de proceso de prótesis acrílica y metálica

Costo de inversión aproximados.

Materiales	Prótesis Acrílicas	Prótesis Metálicas	Peso	Valor	URL
Yeso piedra	✓	✓	1 kg	\$4.500	Dentinet
Material refractario	✓	✓	1 kg	\$6.990	NexoDental
Cera de modelado	✓	✓	400 gr	\$4.900	NexoDental
Acrílico termo	✓	✓	250 gr	\$6.910	NexoDental
Monómero auto	✓	✓	210 cc	\$8.700	Dentobal
Dientes artificiales	✓	✓	c/set	\$4.900	Megamed
Accesorios	✓	✓	Variable		
Articuladores dentales	✓	✓	c/u	\$189.900	ExproDental
Presurizadores	✓	✓	c/u	\$200.000	Blasdent
Prensa	✓	✓	c/u	\$329.000	Dentaltech
Equipo para polimerizar	✓	✓	Variable		
Prensa con muflas	✓	✓	c/u	\$10.990	Dentaltech
Máquinas de acabado y pulido	✓	✓	c/u	\$220.000	Dentaltech
Metal Cromo-Cobalto		✓	1 kg	\$130.000	Blasdent
Horno de fundición		✓	Variable (Dependiente de su tipo)		
Arenadores		✓	c/u	\$369.348	DentalLaval

Tabla 21. Costos de inversión aproximados de confección convencional

No se toma en consideración el costo de mano de obra y gastos asociados a la administración, debido principalmente al rubro y ritmo de los laboratorios dentales, estos en su mayoría se dedican de manera autónoma brindando sus servicios a múltiples instituciones, desde consultorios públicos a clínicas o consultas privadas.

Además, los años de experiencia y técnicas y la extensa cantidad de métodos o tecnologías utilizadas en los métodos convencionales puede variar y desviar el enfoque del análisis.

En pocas palabras, según el laboratorio, los costos unitarios de las estructuras de prótesis considerando costos fijos y variables de materias primas y sin considerar gastos administrativos (transporte, depreciación, GAV, entre otros).

Estructura completa	Costo unitario CLP	Tiempo de proceso
Prótesis acrílicas	\$15.000	5 horas
Prótesis metálicas	\$35.000	9 horas 15 min

Tabla 22. Resumen de costos y tiempos de proceso de prótesis acrílica y metálica

Por otro lado, como se comentó uno de los grandes costos a considerar es la experiencia y la técnica de la producción convencional, el arte detrás de la sonrisa y los conocimientos para la funcionalidad y estética de la boca del paciente. Arduos periodos de diseño, ajustes, modificaciones, entre otros, las ventajas y desventajas que presenta actualmente el método convencional de fresado:

Ventajas:

- Personalización estética
- Funcionalidad analógica
- Materiales más resistentes
- Años de estudios dictados por instituciones educacionales
- Técnicas utilizadas por todo el mundo
- Inmensa cantidad de información

Desventajas

- Tendencia al error humano
- Manufactura rutinaria y demandante de tiempo
- Falta de innovaciones o procesos que acorten los procesos productivos

13.6 Costos comparativos

Para el análisis se comparará con los tiempos y costos asociados a la manufactura de una prótesis acrílica completa. Se utilizará para el ejemplo la información entregada por Formlabs.

La empresa cuenta grandes cantidades de información respecto a los costos o procesos de la manufactura aditiva de la impresión 3D en su sitio web o por sus agentes de atención al cliente. A continuación, se realizará una comparación respecto a los costos entregados por la empresa junto con los costos que se llevan a cabo en la confección del laboratorio del Caso Práctico

Cabe destacar que los costos son aproximados y la guía de los costos de Formlabs no refleja ni explica las posibles variaciones de otras marcas, todo es una aproximación para mejor entendimiento.

Tomando en consideración la producción de las estructuras de prótesis acrílicas completas tenemos los siguientes procesos llevados a cabo en términos de tiempo y costo de los materiales Formlabs.

Los análisis que realiza Formlabs son con relación a su tamaño de plataforma de impresión, la cual optimizan el espacio de impresión, para casos del análisis, se comparará con la producción de 8 estructuras de prótesis acrílicas completas, esto por la optimización del tamaño de la plataforma de impresión.

Otras alternativas pueden variar su costo unitario.

	Material	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Tiempo
Paso 1	Modelo de ortodoncia	8	\$1.974	\$15.792	1 hora
Paso 2	Base de prótesis	8	\$5.217	\$41.736	12 horas
Paso 3	Base de dientes	8	\$2.632	\$21.056	5 horas
Paso 4	Acabado y pulido	8	Variable		4 horas
Prótesis acrílica completa		8	\$10.000	\$80.000	22 horas

A diferencia de la estructura metálica los tiempos pueden variar mucho más, debido principalmente al proceso de fundición y los métodos utilizados, sin embargo, existe la posibilidad de imprimir patrones de fundición con resinas castable y facilitar los procesos de diseño y ajuste.

Método	Costo (8 unidades)	Tiempo estimado
Convencional	\$120.000	32 horas
Digital	\$80.000	22 horas
Diferencia	-33%	-32%

Tabla 23. Resumen comparativo del método convencional y digital

El tiempo dedicado por intervención humana es mínimo, la automatización de producción en la tecnología LCD pese al nivel de detalle, se requiere un tratamiento de curado y de limpieza de impurezas por intervención humana y para finalmente agregar detalles estéticos que una máquina no puede diseñar.

Una disminución de los tiempos y los costos asociados a la producción nos puede entregar distintas conclusiones de la magnitud de esta tecnología. Al igual que en muchas industrias, la disminución de costos ha entregado nuevas oportunidades a personas menos recursos y que actualmente no cuentan con la oportunidad de satisfacer sus necesidades en realizar tratamientos dentales.

Lo más interesante del análisis, se basa en la posibilidad de automatizar la producción de ciertos procedimientos, esto para el laboratorio entrega la posibilidad de realizar otras labores mientras está en funcionamiento la impresora 3D.

13.7 Ejemplo Caso Práctico Payback

Tomando en consideración la inversión inicial de la impresora 3D Sonic 4K Mini, las máquinas de postproceso 2 en 1 y el curso de CAD/CAM de CursosOdonto3D podemos calcular la inversión total inicial:

Inversión Total Inicial: **Sonic Mini 4K + Crality UW-02 + Curso CAD/CAM**

Inversión Total Inicial: \$399.150 + \$182.410 + \$290.000

Inversión Total: \$871.560

Según el laboratorio, tiene un rendimiento y un flujo de caja neto promedio mensual de 1.000.000

$\text{Inversión Total} / \text{Ingreso Promedio Mensual} = \text{Payback}$

$871.560 / 1.000.000 = 0,871 = \text{Payback}$

El laboratorio en un periodo de **0,9 meses** podrá recuperar la inversión inicial, es decir, es una inversión de bajo riesgo, lo cual para laboratorios que están comenzando con la tecnología, podrán sosteniblemente recuperar su inversión a la brevedad.

13.8 Análisis Caso Práctico

Es cierto que existen muchas comodidades o facilidades que a simple vista ofrece la digitalización de los procesos, e inclusive la impresión automatizada de las estructuras. Entre las posibles soluciones o comodidades que presentaría este laboratorio en la manufactura de estructuras de prótesis son:

13.8.1 Modelos dentales

Para cualquier estructura, el alcance de enviar un archivo digital a distintas regiones de Chile ofrece la posibilidad de imprimir los modelos digitales a unos de resina y modelar según las especificaciones del odontólogo, sin tantos viajes odontólogo-laboratorio.

13.8.2 Patrones de fundición

Para el procedimiento de prótesis metálicas, el diseño de patrones de fundición por la impresión digital extraída de la consulta puede optimizar los resultados. Entre las propiedades que ofrece este diseño digital, es principalmente la comodidad tanto para diseñar e imprimir bajo un ritmo automatizado y en caso de desajustes los diseños realizados no se pierden por completo, como actualmente se realizan bajo el procedimiento convencional.

Por otro lado, los extensos procesos de fundición y los métodos actuales de “prueba y error” no aseguran la calidad y efectividad de la pieza, la impresión de patrones de fundición apunta a ser una alternativa más cómoda, económica y de gran utilidad para el diseño de las estructuras por fundir.

13.8.3 Restauraciones temporales o permanentes dentales

La capacidad de diseñar desde una corona o puentes de hasta siete piezas, los cuales pueden tener una duración temporal hasta 12 meses o de uso permanente con la impresión 3D con mayor rapidez

En ocasiones se requieren dientes para la restauración con específica forma y color, los cuales, según el método de venta por set obliga a los laboratorios a comprar todo un set de dientes, lo que para términos prácticos no es eficiente en tiempo y en costos, esta nueva alternativa ofrece mayor comodidad e inclusive diseño y personalización para los requerimientos del paciente.

13.8.4 Prótesis acrílicas

Se demostró con el ejemplo, que la producción de prótesis acrílicas completas es posible, desde materiales con resinas biocompatibles y seguros de su uso en boca, hasta la reducción de costos y tiempo, un factor fundamental. Estos entregan una gran oportunidad de negocio en este tipo de estructuras, mayores facilidades y comodidades, además de la creación de valor para las clínicas.

14 Análisis

A continuación, se analizarán los distintos puntos de interés que se deben considerar a la hora de adquirir una impresora 3D. Se comparará en función de los modelos demostrados en la investigación, con el objetivo de ser una guía para su adquisición.

La comparación se basará en aspectos precio técnicos – accesibilidad – funcionalidad, cualquier otro aspecto de interés, a lo largo de la investigación se entregan datos de contacto y URL para más información sobre las empresas distribuidoras presentes en Chile.

Modelo	Form3B+	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini	Photon Mono M5s –12K
Tipo	Dental - profesional	Dental - profesional	Dental - semiprofesional	Escritorio
Marca	Formlabs	Phrozen	Phrozen	Anycubic
Software	Preform	Phrozen OS, ChituBox	Phrozen OS, ChituBox	Anycubic Photon Workshop 3.1
Operación	Panel táctil de 5,5 pulgadas	Panel táctil de 5 pulgadas	Panel táctil de 2,8 pulgadas	Panel táctil de 4,3 pulgadas
Conectividad	USB, Wifi, Ethernet	USB, Wifi, Ethernet	USB	USB, Wifi, Ethernet
Tecnología	Estereolitografía de bajo esfuerzo (LFS)	SLA - LCD	SLA - LCD	SLA - LCD
Resolución	25 – 300 µm	35 µm	35 µm	19 - 24 µm
Fuente de poder	AC100-220V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC110-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad	No entrega	90 mm / hr	80 mm / hr	105 mm / hr, 70 mm / hr
Tamaño	40,5 x 37,5 x 53cm	28 x 28 x 46,5cm	23 x 23 x 34cm	29 x 27 x 46cm
Volumen impresión	14,5 x 14,5 x 18,5cm	13,4 x 7,5 x 20cm	13,4 x 7,5 x 13cm	21,9 x 12,3 x 20cm
Peso	17,2 kg	14,9 kg	5 kg	8,9 kg
Temperado de resina	NO	SI	NO	NO
Post curado	SI	SI	SI	SI
Garantía	1 año extensible	1 año extensible	3 meses	1 año extensible
Precio CLP	\$5.452.000 + IVA	\$1.676.400 + IVA	\$399.150 + IVA	\$620.000 + IVA

Análisis de prefactibilidad de impresoras 3D para laboratorio dental en Chile

Puntos a favor	- Excelente servicio de venta y post venta. - Capacitaciones y actualizaciones constantes. - Gran cantidad de información en la web y un trato personalizado. - Materiales Formlabs reconocidos por su gran calidad y confianza.	- Temperado de resina que optimiza los resultados y acabados. - Cuenta con un programa de apoyo y capacitaciones de la tecnología y el diseño 3D. - Marca con gran cantidad de materiales de resina dental.	- Más económica y con excelentes relaciones calidad-precio. - Liviana y de fácil movilidad. - Resolución de los resultados impresos en 4K. - Es una de las impresoras más populares de uso dental. - Marca con gran cantidad de materiales de resina dental. - Recomendada para principiantes del laboratorio dental.	- Posibilidad de imprimir a 105 mm / hr - Nivelación y detección automática de la resina depositada. - Resolución de los resultados impresos en 12K. - Gran volumen de impresión.
Puntos en contra	- Alto costo de inversión - Código abierto implementado hace prontas actualizaciones. - Accesibilidad de materiales y modelos en Chile es reducida y tardía.	- Alto costo de inversión - Especificaciones del modelo actualmente son superadas por modelos más económicos.	- No existe resina biocompatible que admita resoluciones 4K. - Corto periodo de garantía, no se permite extensión.	- No existe resina biocompatible que admita resoluciones 12K - No es considerada especialista en estructuras para la industria dental. - Marca cuenta una reducida cantidad de materiales de resina dental.

Tabla 24. Análisis comparativo de modelos de impresión 3D

14.1 Precio

Un factor fundamental a la hora de adquirir cualquier tipo de maquinaria es analizar el nivel de inversión y periodos de retorno ante ciertos niveles de demanda para el laboratorio o clínica dental.

Se comentarán los distintos requerimientos y costos aproximados importantes a considerar para la inserción a la industria de la odontología digital y la implementación de impresoras 3D en la producción de estructuras bucales funcionales y estéticas.

En base a la investigación desarrollada cabe mencionar lo siguiente:

14.1.1 Escáner 3D

Es necesaria la adquisición de un escáner 3D, de tipo intraoral (interior de cavidad bucal) o de tipo extraoral (impresión en alginato, silicona o modelos en yeso) para la transformación en un archivo STL u OBJ.

Existe una amplia gama de modelos que los valores oscilan desde \$5.000.000 CLP

14.1.2 Software

Se trataron distintas modalidades tanto de softwares desde los más complejos y costosos, empresas especializadas en el diseño de estructuras dentales en 3D y softwares gratuitos para su diseño y corte para la impresión en tres dimensiones

Amplia gama de softwares, su adquisición depende del conocimiento técnico de diseño o tercerización con otras empresas.

14.1.3 Impresora

Para comparar la inversión por realizar se ejemplificará con los modelos previamente mencionados:

Según el análisis podemos observar distintos valores de las tecnologías, estos pueden variar según el modelo o extensión de la garantía, o inclusive promociones entregadas por los distribuidores en Chile.

Modelo	Form3B+	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini	Photon Mono M5s –12K
Tipo	Dental - profesional	Dental - profesional	Dental - semiprofesional	Escritorio
Precio CLP	\$5.452.000 + IVA	\$1.676.400 + IVA	\$399.150 + IVA	\$ 620.000 + IVA

Inicialmente podemos observar que existen impresoras 3D con gran popularidad y con resultados aceptables a menos de \$400.000 CLP, por otro lado, dependiendo de los requerimientos del laboratorio en función del volumen o también nivel de calidad en los resultados puede superar ampliamente los 5 millones de pesos chilenos, hasta más de 15 millones algunos modelos.

Se puede cuestionar las similitudes en las características de resolución de las impresoras, lo cual es sin duda uno de los factores fundamentales para las estructuras dentales personalizadas con un buen ajuste y única para el paciente, donde podemos cuestionar el excesivo costo de las impresoras 3D “dentales” con relación a las de “escritorio”. Sin embargo, las empresas afirman y recomiendan la utilización de sus propias resinas en sus modelos propios de impresoras, lo cual, pese al código abierto, queda a criterio de cada profesional.

14.1.4 Post curado

Existen modelos de impresoras 3D, que no requieren de post curado, estas principalmente son de uso industrial y de complejo desarrollo y costos asociados, los cuales no son considerados o analizados en este análisis de prefactibilidad para pequeñas y medianas empresas de la industria odontológica digital

Las tecnologías principalmente analizadas (LCD y LFS) son las más accesibles en Chile y de fácil entendimiento en diseño y utilización para principiantes.

Todas conllevan un proceso de post curado en su producción para la obtención de resultados óptimos y de mayor calidad.

Modelo	FormWash	FormCure	Creality UW-02	Anycubic Wash&Cure 2.0
Tipo	Lavado	Curado	2 en 1	2 en 1
Precio CLP	\$1.034.000 + IVA	\$1.316.000 + IVA	\$182.410 + IVA	\$159.650 + IVA

La gran diferencia del rango de valores, protagonizado por Formlabs, principalmente se basa en las especificaciones de control de temperatura, tiempos, acabado, volumen de impresión, que evidentemente ante mayor análisis son superiores a una escala más industrial.

Desde \$100.000 a más de 3 millones de pesos chilenos puede variar la adquisición de lavado y curado.

14.1.5 Materiales

Cada marca recomienda la utilización de sus propios materiales en los modelos de impresora 3D, sin embargo, con la estandarización de los modelos para aceptar otros materiales abre el mercado a muchas otras variedades de materiales y propiedades.

La calidad y precio de los materiales depende del tipo de resultado que se espera. Sin embargo, la utilización de materiales ajenos a la marca del modelo, no necesariamente se aseguran óptimos resultados sin prueba y error.

Se detalló en el análisis los distintos tipos de resinas, sus características y funciones y así mismo se puede ver la diferencia monetaria entre los materiales propios de Formlabs con los de Anycubic. La diferencia radica en los servicios y la calidad de los resultados de Formlabs. Para los laboratoristas la calidad es fundamental, sin embargo, es necesario el postproceso de pulido y limpieza de impurezas siempre. Es aquí donde uno podrá evidenciar la real diferencia entre los materiales y el modelo de impresora que deseen implementar en sus labores.

14.1.6 Capacitación

Es normal plantear si vale la pena o no aprender sobre este nuevo tipo de tecnología, y es donde a lo largo del análisis se propuso responder y apoyar la decisión de invertir o no.

Distintos resultados se han obtenido tanto de análisis de mercado, como variaciones y reducciones de tiempo y costo en los procedimientos. Pese a esto, se recomienda realizar cursos de odontología digital, estos como se comentó, ya están realizando empresas privadas, profesores particulares e inclusive instituciones universitarias. Los valores dependerán del tipo de curso, presencial o virtual, el grado de familiarización con el diseño digital, cantidad de horas que deseen contratar entre otros, estos pueden variar desde los CLP\$100.000.

Antes de invertir en una impresora, también está la posibilidad de practicar por cuenta propia con los softwares CAD/CAM de manera gratuita, existen librerías digitales en las cuales se pueden encontrar miles de diseños ya creados por otros laboratorios digitales que podrán entregar nociones de la impresión 3D.

14.2 Aspectos técnicos

Para excelentes resultados, se requieren importantes conocimientos técnicos de diseño CAD/CAM de las estructuras dentales. Por otro lado, las impresoras facilitan mucho los procedimientos y los resultados.

Modelo	Form3B+	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini	Photon Mono M5s –12K
Operación	Panel táctil de 5,5 pulgadas	Panel táctil de 5 pulgadas	Panel táctil de 2,8 pulgadas	Panel táctil de 4,3 pulgadas
Conectividad	USB, Wifi, Ethernet	USB, Wifi, Ethernet	USB	USB, Wifi, Ethernet
Resolución	25 – 300 μm	35 μm	35 μm	19 - 24 μm
Velocidad	No entrega	90 mm / hr	80 mm / hr	105 mm / hr, 70 mm / hr
Volumen impresión	14,5 x 14,5 x 18,5cm	13,4 x 7,5 x 20cm	13,4 x 7,5 x 13cm	21,9 x 12,3 x 20cm

Existen aspectos que son decisivos para la inversión y adquisición de una impresora 3D, además del valor monetario, lo crucial son los resultados que se pueden obtener y si actualmente se puede reemplazar el método convencional o complementar los procesos.

14.2.1 Operación

Distintas impresoras ofrecen operaciones y entregan información del proceso de la impresora, entre ellos, el estado de la impresión, tiempos, ajustes, calibraciones, entre otros. Para el uso diario puede ser muy molesto un panel muy pequeño y no tener el control del proceso u otras alertas.

14.2.2 Conectividad

Uno de los grandes beneficios de la impresión 3D, es el almacenamiento y la digitalización de modelos con la capacidad de compartir en distintas plataformas. Muchos modelos de impresoras cuentan con acceso a Wifi o Ethernet lo que facilita el traslado de archivos y a veces únicamente con entrada USB para almacenamiento externo.

Depende del tipo de trabajo del laboratorio o clínica la comodidad en el trabajo y uso de la impresora, ya sea enviando archivos por Wifi o USB con una fuente externa, pero si es de importancia percatarse de este tipo de información antes de invertir.

14.2.3 Tiempos

El nivel de detalle de las capas impresas es en micras (μm), cuanto mayor detalle, mayor tiempo tarda en imprimir. La mayoría de las impresoras cuentan con distintos niveles de resolución, lo cual puede el usuario elegir el nivel de detalle y con ello el tiempo de impresión.

Depende del tipo de resultado que se espera el nivel de detalle, para el estudio de modelos dentales no se requiere mayor nivel de detalle, lo cual ofrece menores tiempo de proceso, sin embargo, distinto es para la impresión de guías quirúrgicas, lo cual sí se requiere gran nivel de detalle para la seguridad del paciente y de los resultados.

Depende del tipo de estructura y la prueba de los resultados lo que más acomode al laboratorio dental.

14.2.4 Volumen de impresión

Sin un volumen de impresión lo suficientemente amplio, la automatización de impresión de varias estructuras puede variar, comúnmente se desea minimizar los espacios inútiles.

Ante esto, se recomienda antes de la impresión que se acomoden las estructuras de manera vertical, lo cual se ha demostrado mayores eficiencias de espacio, de colocación de puentes de soporte y mejores resultados.

Aproximadamente un modelo de impresión dental puede tener dimensiones de 5 cm x 5 cm x 2 cm: ancho de 5 cm (distancia de molar a molar), 5 cm de largo desde el borde incisal hasta la línea del post Dam (paladar blando a paladar duro) y de alto 2 cm desde el borde incisal hasta el fondo del vestíbulo bucal.

Por ejemplo, utilizando el software gratuito Chitubox y con las dimensiones del modelo de la plataforma de impresión del modelo Sonic Mini 4K podemos analizar lo siguiente

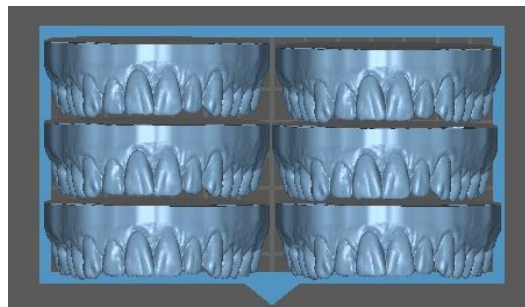


Figura 10. Ejemplo de tamaño de dimensiones y capacidad en software Chitubox

La capacidad máxima de impresión son 6 modelos dentales, intentando maximizar el volumen de impresión.

Entonces, la dimensión de cuantas estructuras pueda automatizar la impresora es de gran importancia en la industria de impresión dental, por otro lado, la altura de las prótesis no es un factor que sea de relevancia, se prefieren plataformas de impresión más extensas horizontalmente.

14.3 Accesibilidad

Para la industria de impresión 3D dental, se han comentado múltiples distribuidores y empresas que se dedican a proveer insumos para las impresoras, sin embargo, en Chile aún no existe una masificación de este tipo de tecnología para la industria dental, muchos de los insumos que se requieran son importados según la demanda, lo cual puede tardar días en llegar.

Pese a las ofertas que se presente en el mercado, deben de corroborar los materiales y configuraciones de la impresora para poder aprovechar al máximo sus capacidades y con ello la obtención de óptimos resultados en las estructuras dentales. Por otro lado, marcas como Phrozen y Anycubic cuentan con una gran presencia y stock de materiales para imprimir, distinto de Formlabs que sólo cuenta con 1 distribuidor oficial.

14.4 Funcionalidad de la odontología digital

Para este caso práctico, la inversión de una impresora 3D y las herramientas y softwares que se utilizan pueden favorecer en distintos puntos:

14.4.1 Almacenamiento digital

Con un Scanner 3D, el laboratorio o clínica tiene la posibilidad de trabajar con imágenes tridimensionales y almacenadas en la nube, lo cual favorece la comodidad, uso de materiales de impresión y ahorro en costos.

14.4.2 Aumento de demanda ante apertura a la industria odontológica digital

El laboratorio con la capacidad de recibir digitalmente, archivos STL u OBJ, podrá aumentar considerablemente su demanda de trabajo, con nuevas clínicas que poseen o deseen invertir y transformar su consulta en una clínica odontológica digital.

14.4.3 Eficiencia en tiempo de prototipado

Pese a no contar con conocimientos con impresoras 3D, ni en diseño con el lenguaje CAD/CAM, los procesos de “prueba y error” como comúnmente se llevan a cabo los diseños, en muchas situaciones no resulta como se espera. La impresión 3D, al analizar un modelo digital, se puede diseñar un prototipo que imite la estructura bucal, las piezas dentales y los complementos para probar en boca del paciente, las modificaciones quedan guardadas en la nube y es posible volver a diseñar o utilizar modelos ya creados para personalizarlos nuevamente.

Ajustes tanto la estética como la funcionalidad de su mordida, todo se puede desarrollar en los softwares de CAD/CAM, por ejemplo, varios modelos estos pueden editarse a la vez y programar para su impresión por toda la noche y en la siguiente jornada sólo pulir imperfecciones.

14.4.4 Menos contaminante y más comodidades

El uso de los nuevos métodos digitales facilita la captura de la imagen intangible de la estructura de la boca del paciente, lo cual ahorra costos en materiales de impresión. Por otro lado, se evita el molesto proceso de calcar la boca del paciente con el material de impresión, que en muchas ocasiones es la causa más frecuente de errores, al provocar deformaciones del material por cambios de temperatura que afecten la impresión inicial, lo cual, arruina el diagnóstico y el tratamiento.

14.4.5 Menos viajes paciente-dentista-laboratorio

La facilidad de la digitalización ofrece la oportunidad de entregar al paciente incluso el mismo día una estructura impresa en 3D, además para el laboratorio la oportunidad de reducir aproximadamente los 8 viajes de prueba en boca de cada proceso ofrece más comodidad beneficiando el ritmo y tiempo de trabajo con mayor rapidez de la producción.

14.4.6 Mayor prestigio para la clínica

Los pacientes toman en cuenta la tecnología con la que trabajan los consultorios dentales. Al poseer la capacidad de ofrecer mejores resultados y a mejor precio aumenta el valor y el prestigio para la clínica o laboratorio.

14.4.7 Menores costos y accesibilidad para los pacientes

Al reducir la cantidad de pasos e inclusive de personas que intervienen en los procedimientos, los costos de los tratamientos se reducen.

Además, como se demostró, el costo asociado a los materiales y procedimientos de las estructuras entrega menores costos y mayores beneficios para la clínica, y con ello la posibilidad de entregar una mayor accesibilidad para ciertos tratamientos a los pacientes, tanto en estética, funcionalidad como dignidad.

15 Conclusiones

15.1 Análisis de objetivos específicos

En relación con el propósito de la investigación podemos destacar los siguientes puntos:

1) Comprender los principales ventajas y desventajas al implementar impresoras 3D en el laboratorio dental.

Luego del análisis podemos identificar un factor común en las características de las impresoras y sus aplicaciones, de las cuales, podemos destacar generalmente para laboratorios principiantes en la tecnología las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Eficiencias de tiempos, costos y de comunicación con el laboratorio
- Almacenamiento digital
- Ahorro de materiales de impresión
- Comodidad al paciente y clínica dental
- Ofrece aplicaciones únicas y en ocasiones imposibles por el método convencional
- Automatización de procesos productivos
- Mayor prestigio al laboratorio y clínica
- Entrada a la industria de la odontología digital

Desventajas

- Necesidad de conocimientos técnicos de diseño CAD/CAM
- Altos costos de inversión en digitalización de procesos
- Materiales de impresión 3D de menor calidad en durabilidad y resistencia

2) Advertir los riesgos de inversión de las 3 categorías de impresión 3D utilizadas actualmente en el laboratorio dental en Chile

Se analizaron 4 modelos de 3 de las marcas más representativas de las impresoras con insumos 3D dentales, de los cuales se subdividen las categorías como profesionales, semiprofesionales y de escritorio. Todas con la tecnología LCD o LFS, una de las más rentables y accesibles para principiantes en el área de la impresión 3D dental.

Poseen distintas características, propiedades y materiales propios de las marcas dirigidos para estructuras dentales, estas presentan código abierto para experimentar y desarrollar con distintas resinas e insumos para mejorar los resultados en sus impresiones. Sin embargo, presentan distintas consideraciones que son de vital importancia analizar.

Existen altos costos de inversión, distintos tamaños de impresión y resoluciones, además se entró en cuestionamiento el título de impresora 3D dental con una impresora no especializada categorizada como de “escritorio” a un precio más conveniente, tamaños y resoluciones similares.

Entonces, para quienes recién deseen adentrarse en el mundo de la impresión 3D para la creación de estructuras, deben de considerar los riesgos de las características técnicas y de diseño CAD/CAM principalmente. Por más que uno invierta en tecnología y comodidades, sin profesionales capacitados, la adquisición no será de gran utilidad. Sin duda que el análisis debe ser acompañado de un asesoramiento para quienes sean principiantes y deseen conocer más sobre las características técnicas.

3) Conocer las repercusiones socioeconómicas en los pacientes ante la adopción de la impresión 3D en los nuevos procesos productivos.

Es evidente que las distintas repercusiones al adoptar un nuevo tipo de tecnología para la industria dental convencional, genera panoramas inciertos para el bolsillo de la clínica o del cliente. Sin embargo, ante la demostración de los distintos modelos que actualmente en Chile y los respectivos materiales y procesos que se llevan a cabo podemos observar un panorama más favorable en términos de inversión.

La reducción de pasos de los procedimientos se traduce en eficiencias de tiempos y costos de materiales, evidentemente significa un ahorro o menores precios para los pacientes en sus tratamientos, esto ofrece más comodidades para el paciente y su diagnóstico.

Entre las variaciones podemos observar aproximadamente con el Caso Práctico una reducción de más del 30% en costos de materiales y tiempos de procesos, estos con una producción automatizada para la confección de 8 prótesis acrílicas completas.

La disminución de costos en los procesos, pese a los resultados de durabilidad y resistencia del método digital, entrega la oportunidad a personas con menos recursos que actualmente no cuentan con la disponibilidad de una alternativa más económica.

4) Analizar cuáles son los 3 principales motivos de por qué la impresión 3D aún no reemplaza el método convencional de producción.

Repetidamente se observaron 3 principales inconvenientes o motivos que dificultan la implementación de la tecnología en 3D para el laboratorio o clínica dental.

En primer lugar, la reducida cantidad de instituciones privadas o públicas educacionales acreditadas en enseñar métodos digitales en odontología o de impresión 3D, esto tiene una relación directa en los conocimientos técnicos CAD/CAM y digitalización de procesos, lo cual dificulta su aprendizaje para todo tipo y tamaño de laboratorio.

En segundo lugar, la reducida calidad y resistencia de los materiales que se utilizan actualmente en comparación con los materiales utilizados en los métodos convencionales como el zirconio, la porcelana, acrílicos, entre otros. Con el paso del tiempo las empresas están innovando en nuevas propiedades que imiten las características de los materiales utilizados hoy, sin embargo, aún quedan bastantes desarrollos para superar a los actuales.

Por último, se debe considerar los altos costos de inversión asociados a la transformación e inserción a la odontología digital. Desde escáneres 3D, CBCT, impresoras y capacitaciones en la utilización de nuevos equipos y tecnologías, son costos e inversiones para considerar.

La problemática afecta tanto a profesionales con más de 30 años de experiencia con técnicas convencionales, como a profesionales jóvenes y novicios que desean educarse y aventurarse en nuevas técnicas, pero aún no poseen un capital para invertir en ello.

16 Recomendaciones

El constante avance de la tecnología en la búsqueda de mayores eficiencias de tiempos, costos e intervención humana ha logrado facilitar una inmensidad de problemáticas e ineficiencias de los procesos, a tal punto de que los profesionales han cuestionado hasta dónde puede llegar la evolución de las máquinas, creando incertidumbres en relación con sus puestos de trabajo, su reemplazo e inclusive la obsolescencia de sus técnicas de manufactura tradicional y convencional.

El análisis se desarrolló en función al desconocimiento de la tecnología de impresión 3D en la industria de la odontología, se recabó información respecto a las nuevas tendencias y la evolución de los procesos productivos digitales, lo cual muchos laboratorios en Chile hoy están temiendo por su reemplazo o una menor demanda de su trabajo convencional de confección de estructuras dentales.

Ante esto, la impresión 3D a que apenas lleva poco más de una década en la industria dental, aún no supera en relación con los resultados obtenidos por los métodos convencionales, desde calidad de materiales, durabilidad e inclusive técnicas de diseño.

La impresión 3D y las herramientas necesarias como los escáneres 3D hoy resultan ser un **gran aliado**, al igual que cualquier herramienta que apoye los distintos procesos repetitivos y monótonos. Sin duda que la característica más fundamental es que se alivianan las cargas de trabajo, automatizan procesos que puede un laboratorio utilizar el tiempo de impresión en otras labores, mantener la funcionalidad, estética y personalización única con excelentes resultados.

Tanto este trabajo de investigación y análisis de prefactibilidad de impresoras 3D en los laboratorios dentales en Chile, como cualquier desarrollo o avance tecnológico concluye que, este tipo de tecnología no tiene que ser visto como una amenaza de sustitución de los actuales procedimientos, sino, como un aliado que busca facilitar y reducir costos y tiempos de proceso monótonos y rutinarios.

Finalmente, las tecnologías y la ética profesional deben siempre enfatizar en función de satisfacer las necesidades de los pacientes al ofrecer nuevas alternativas más al alcance de todos los rangos de la población, se espera que la tecnología pueda favorecer la integridad, funcionalidad y estética de muchos quienes no tienen acceso a restauraciones dentales y esperan poder volver a sonreír.

17 Referencias

- World Health Organization. (2022). *Global oral health status report*. Ginebra: WHO. Obtenido de <https://www.who.int/publications/i/item/9789240061484>
- A. César, A. O. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina Vol.61, n.6. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 43-51. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2018/un186g.pdf>
- Alahyane, N. (2017). *wipo*. Obtenido de wipo.net: https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/01/article_0006.html
- Alicia M. (20 de 06 de 2023). *3dnatives.com*. Obtenido de 3dnatives: <https://www.3dnatives.com/es/reportes-hubs-2023-impresion-3d-20062023/>
- Alicia M. (04 de 04 de 2023). *3dnatives*. Obtenido de 3dnatives.com: <https://www.3dnatives.com/es/reportes-wohlers-2023-sector-impresion-3d-04042023/#:~:text=El%20Reporte%20Wohlers%20es%20sin,cada%20a%C3%B1o%20una%20nueva%20edici%C3%B3n.>
- All3DP. (16 de 02 de 2022). *All3dp.com*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/#:~:text=Tres%20formas%20comunes%20de%20polimerizaci%C3%B3n,utilizan%20para%20Ocurar%20la%20resina.>
- Alves, A. (2021). *Smileep*. Obtenido de <https://smileep.com/protesis-dentales-impresas-3d-tecnologia-para-clinicas-privadas/>
- aniwaa. (2017). *aniwaa.com*. Obtenido de <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/imprimere-ag-big-3d-printer-2156/>
- Anycubic. (18 de 08 de 2023). *All3DP*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/mejores-impresoras-3d-resina-dlp-sla-estereolitografia-caseras/#medio-formato-anycubic-photon-mono-m5s>
- Buffa, V. (25 de 05 de 2023). *mejorconsalud.as.com*. Obtenido de Mejor con Salud: <https://mejorconsalud.as.com/impresion-3d-odontologia-en-que-consiste/>
- Catañeda, F. (2022). *Informe de Investigación: Impresión 3D*. Valparaíso: PUCV. Obtenido de https://wiki-ead.b-cdn.net/images/6/61/Informe3D_Franco_Casta%C3%B1eda_B_TF2022.pdf
- Colgate. (2023). *Colgate.com*. Obtenido de <https://www.colgate.com/es-cl/oral-health/bridges-and-crowns/what-are-dental-crowns-and-tooth-bridges>
- Cowan, M. (06 de Julio de 2018). *bbc.com*. Obtenido de BBC News: https://www.bbc.com/news/technology-44709534?_ga=2.216442719.850870598.1693494837-1254196453.1692921268
- Cuaresma, J. (03 de 04 de 2023). *wwwwhatsnew*. Obtenido de wwwwhatsnew.com: <https://wwwwhatsnew.com/2023/04/03/la-revolucion-de-la-impresion-3d-en-la-arquitectura/>
- Dassault Systems. (2020). *3ds.com*. Obtenido de 3ds: <https://www.3ds.com/es/make/solutions/industries/3d-printing-education>

- doctors, T. (13 de 04 de 2022). *top doctors México*. Obtenido de topdoctors.mx:
<https://www.topdoctors.mx/articulos-medicos/particulas-liberadas-por-impresoras-3d-danan-severamente-los-pulmones#>
- Dra. Patricia Bratos. (15 de 01 de 2019). *clinicaferusbratos.com*. Obtenido de Ferrus & Bratos:
<https://www.clinicaferrusbratos.com/tecnologia/escaner-intraoral-3m-true-definition-scanner/>
- DT Latin America. (21 de 11 de 2018). *Dental Tribune*. Obtenido de <https://la.dental-tribune.com/news/el-crecimiento-del-mercado-de-impresion-3d/>
- EMR. (2022). *Análisis de la Industria de Impresión 3D Dental en América Latina*. Obtenido de <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-impresion-3d-dental-en-america-latina>
- Filament2print. (19 de 04 de 2022). *filament2print*. Obtenido de filament2print.com:
https://filament2print.com/es/blog/152_que-aporta-la-impresion-3d-a-la-industria-aer.html
- Formlabs. (12 de 03 de 2019). Obtenido de <https://formlabs.com/latam/blog/como-elegir-impresora-3d-dental-para-clinica-laboratorio/>
- Formlabs. (2019). Obtenido de <https://formlabs.com/latam/3d-printers/form-3b/>
- Formlabs. (2020). *Formlabs*. Obtenido de <https://formlabs.com/latam/blog/impresion-3d-sla-vs-polyjet/>
- Formlabs. (14 de 03 de 2020). *formlabs.com*. Obtenido de <https://formlabs.com/latam/blog/fundicion-cera-perdida>
- Gartner Inc. (2023). *gartner.com*. Obtenido de Gartner:
<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
- Henao Jefferson, R. J. (06 de 06 de 2018). *Elaboración de un nuevo tipo de guías quirúrgicas para implantes dentales mediante impresión 3D*. doi:<http://doi.org/10.23850/22565035.1005>
- impresoras3d.com. (09 de febrero de 2023). *impresoras3D*. Obtenido de impresoras3d.com:
<https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
- Integral 3D Printing. (05 de Enero de 2022). *integral3dprinting.com*. Obtenido de integral3dprinting.com: <https://integral3dprinting.com/impresoras-3d/makerbot/makerbot-para-educacion/>
- Integral Innovation Experts. (20 de Agosto de 2019). *Integralplm.com*. Obtenido de Integral Innovation Experts: <https://integralplm.com/blog/2019/08/20/que-es-cad/>
- Klaus Schwab. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Ginebra: Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U. Obtenido de <https://economiapoliticafeunam.files.wordpress.com/2020/05/klaus-schwab.la-4c2b0-rev.-industrial-2.pdf>
- Lucia C. (2019). *3dnatives.com*. Obtenido de 3dnatives: <https://www.3dnatives.com/es/gartner-2019-impresion-4d-140120192/>

- Lucía C. (14 de 04 de 2020). *3Dnatives*. Obtenido de 3dnatives.com:
<https://www.3dnatives.com/es/medicamentos-impresos-en-3d-140520202/#!>
- Mariano Bucco. (2016). *La impresión 3D y su aplicación en servicios médicos (prótesis, fármacos, órganos)*. Buenos Aires: Universidad de San Andrés. Obtenido de
<https://repositorio.udesar.edu.ar/jspui/bitstream/10908/11878/1/%5BP%5D%5BW%5D%20T.M.%20Ges.%20Bucco%2C%20Mariano.pdf>
- Marta G. (17 de 03 de 2022). *3Dnatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/sector-impresion-3d-dental-alcanzara-valor-de-7-9-billones-170320222/#!>
- Matthews, S. (15 de 04 de 2021). *Dioimplant*. Obtenido de
<https://dioimplant.com.mx/especialistas/impresoras-3d-en-odontologia/>
- Matus, D. (01 de marzo de 2018). *Digitaltrends*. Obtenido de es.digitaltrends.com:
https://es.digitaltrends.com/fotografia/historia-de-la-impresion-en-3d/?_ga=2.219629392.850870598.1693494837-1254196453.1692921268
- MayoClinic. (29 de 01 de 2019). *mayoclinic.org*. Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/dental-implant-surgery/about/pac-20384622>
- Muerza, A. F. (05 de 01 de 2015). *Consumer eroski*. Obtenido de consumer.es:
<https://www.consumer.es/medio-ambiente/impresoras-3d-ventajas-y-desafios-para-el-medio-ambiente.html#:~:text=Las%20impresoras%203D%20hacen%20un,f%C3%B3sil%20y%20su%20impacto%20ambiental.>
- Naranjo, L. (03 de marzo de 2013). *protectia.eu*. Obtenido de protectia.eu:
<https://www.protectia.eu/2013/10/impresion-3d-y-patentes/>
- Ortiz, J. (30 de 05 de 2023). *clinicadentalurbina.com*. Obtenido de
<https://www.clinicadentalurbina.com/noticias/tratamientos/que-son-los-retenedores-dentales/>
- PNUD. (2015). *undp.org*. Obtenido de undp: https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/educacion-calidad?gclid=Cj0KCQjwgNanBhDUARIsAAelcAspP-VYMnnq91TotWesdR_8msWmXiNqv82RX_MVK4qhrjZ6TQ3eCzMaAiaEEALw_wcB
- R. Martinez, A. Palma y A. Velásquez. (2020). *Revolución tecnológica e inclusión social*. Santiago: Comisión para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de
https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/45901/S2000401_es.pdf
- Replicante Legal. (2015). *rincondelatecnología*. Obtenido de rincondelatecnología.com:
<https://rincondelatecnologia.com/los-enormes-desafios-legales-de-la-impresion-3d/>
- RepRap.org. (17 de Febrero de 2020). *reprap.org*. Obtenido de reprap.org:
<https://reprap.org/wiki/RepRap/es>
- Roberto Adeva. (09 de Marzo de 2023). *adslzone.net*. Obtenido de adslzone.net:
<https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/#554745-un-poco-de-historia>
- SII. (2015). *Micro empresas*. Obtenido de
https://www.sii.cl/contribuyentes/empresas_por_tamano/microempresas.pdf

- SII. (2015). *Pequeñas y Medianas (PYMES)*. Obtenido de https://www.sii.cl/contribuyentes/empresas_por_tamano/pymes.pdf
- Ulloa, P. (2018). *Guía para realizar una correcta elección para el uso clínico odontológico*. Concepción: Universidad del Desarrollo. Obtenido de <https://repositorio.udd.cl/server/api/core/bitstreams/79b393fb-85dc-413c-b6e9-ec3042feb07f/content>
- Vega, L. (01 de 08 de 2022). *Business Insider*. Obtenido de [businessinsider.es](https://www.businessinsider.es): <https://www.businessinsider.es/tesla-une-goodyear-hacer-realidad-fabricacion-neumaticos-impresion-3d-1102585>
- Victor A. Erazo-Arteaga. (2022). El diseño, la manufactura y analisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. En V. A. Erazo-Arteaga, *Información Tecnológica* (págs. 297-307). Ecuador: Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplciadas. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200297>
- Wildsmile. (2020). *wildsmile.com*. Obtenido de <https://wildsmile.com/es/es-ES/blog/article/pdhzlddrwlbzyfzs/Protesis-dental-removable-esqueletica-o-acrilica-cual-es-mejor>
- WIPO. (1967). *Wipo*. Obtenido de [wipo.net](https://www.wipo.int/about-wipo/en/): <https://www.wipo.int/about-wipo/en/>
- WIPO. (02 de 2017). *wipo*. Obtenido de [wipo.net](https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/01/article_0006.html): https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/01/article_0006.html
- WTO OMC. (1995). *El Acuerdo sobre los ADPIC y los instrumentos internacionales a los que hace referencia*. Obtenido de https://www.wto.org/spanish/tratop_s/trips_s/ta_docs_s/1_tripsandconventions_s.pdf
- Wyve. (2023). *wyvesurf*. Obtenido de wyvesurf.com: <https://wyvesurf.com/>
- Young-Joon Seol, Tae-Yun Kang, Dong-Woo Cho. (01 de 08 de 2012). Solid freeform fabrication technology applied to. *The Royal Society of Chemistry*, págs. 1730-1735. Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/33a5/aace02f095d20810df4b2a19c2576545deba.pdf?_gl=1*j2pymm*_ga*MzI2ODA3NjY1LjE2OTI4MDYyOTc.*_ga_H7P4ZT52H5*MTY5MjgwNjI5Ny4xLjEuMTY5MjgwNjM0NC4xMy4wLjA
- Zazo, L. (06 de 05 de 2013). *Computer hoy*. Obtenido de computerhoy.com: <https://computerhoy.com/noticias/hardware/liberator-primera-pistola-creada-impresora-3d-3684>

18 Anexos

Software	Función	Sistema operativo	Tipo de impresora	Descarga
Blender	Diseño	Windows, MacOS, Linux	Todas	Blender
Fusion 360	Diseño		Todas	Fusion 360
FreeCAD	Diseño		Todas	FreeCAD
ChiTuBox	Programa de corte		Resina (LCD)	ChiTuBox
Cura	Programa de corte Visualización impresora 3D		Filamento (FDM)	Cura
UVTools	Análisis y modificación de archivos Caja de herramientas MSLA		Resina (LCD/DLP)	GitHub
Web printer	Visualización de código G	Navegador web	Filamento (FDM)	WebPrinter
Kiri:Moto	Programa de corte		Filamento (FDM) Resina (LCD)	Kiri:Moto

Tabla 1. Softwares gratuitos de diseño CAD/CAM

Empresa	Página web	Origen
Rapid Shape	https://www.rapidshape.de/products/dental/	Alemania
Kulzer GmVH	https://kulzer.es/es/es/inicio/inicio.html	Alemania
Asiga	https://www.asiga.com/industry-dental/	Australia
3D Systems	https://es.3dsystems.com/dental	EE. UU.
Stratasys	https://www.stratasys.com/mx/industries-and-applications/3d-printing-industries/dental/	EE. UU.
Formlabs	https://formlabs.com/	EE. UU.
EnvisionTec	https://health.desktopmetal.com/dental-3d-printing/	EE. UU.
DWS Systems	https://www.dwssystems.com/3d-printers/dental-lab-clinic	Italia
Roland DG	https://www.rolanddga.com/es/productos/dental-y-medico-cad-cam	Japón

Tabla 2. Principales actores de Impresión 3D Dental en el mundo

Modelado	Son ideales para modelos de todo tipo: implantes, modelos para diagnóstico, para ortodoncia, modelos de coronas y puentes, modelos para alineadores, etc.	
Guías Quirúrgicas	Una resina esterilizable y biocompatible, las cuales son idóneas también para hacer guías de perforación y plantillas de dimensionado de productos.	
Translúcida	Ideal para férulas y guardas oclusales. Esta resina posee una alta resistencia a las fracturas y es pulida hasta alcanzar una gran transparencia óptica.	
Patrones de Fundición	Útil para la fundición y prensado de coronas, puentes y prótesis parciales extraíbles. Los patrones impresos son lo suficientemente resistentes como para usarlos sin post curado para una mayor rapidez.	
Prótesis Dentales	Las resinas biocompatibles de clase II de larga duración para prótesis dentales digitales, tanto finales como de prueba. Permiten a los profesionales de la odontología producir prótesis completas impresas en 3D de forma precisa y fiable, y hacer que el departamento de prótesis extraíbles pase a trabajar de forma totalmente digital.	

Restauraciones Temporales	Indicada para puentes de hasta siete piezas y está disponible en cuatro colores. Pueden estar en la boca hasta 12 meses.	
Coronas Permanentes	Su baja absorción de agua y el acabado liso garantizan que las restauraciones llevadas a cabo con esta resina soporten el envejecimiento, la decoloración y la acumulación de placa.	
Tejido Blando	Permiten crear máscaras gingivales flexibles en combinación con modelos dentales rígidos, además de añadir piezas extraíbles de tejido blando a la producción de modelos para comprobar con seguridad las prótesis e implantes	

Tabla 3. *Materiales de Resina 3D dental*

Marca	Tipo	Valor CLP	URL
Runyes	Intraoral	\$9.500.000	https://www.dental-laval.cl/
Qscan	Extraoral	\$6.590.000	https://biotechchile.cl/
Launca Medical	Intraoral	\$12.627.000	https://gexachile.cl/
MEDIT	Intraoral	\$12.400.000	https://www.techdent.cl/

Tabla 4. *Oferta de escáneres digitales en Valparaíso*

Modelo	Form3B+
Marca	Formlabs
Software	Freeform
Operación	Panel táctil de 5,5 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB
Tecnología	Estereolitografía de bajo esfuerzo (LFS)
Resolución	25 – 300 µm
Fuente de poder	220 mW 100–240 V ~ 2,5 A 50/60 Hz
Velocidad de impresión	No entrega
Tamaño	40,5 x 37,5 x 53 cm
Volumen impresión	14,5 x 14,5 x 18,5 cm
Peso	17,2 kg
Temperado de resina	NO
Requiere post curado	SI
Garantía	1 año extensible
Otras características	- Alertas de pantalla táctil - Generación de soportes automático - Automatización de procesos - Estanque flexible - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm
Precio CLP	\$5.452.000 + IVA

Tabla 5. Descripción técnica modelo Form3B+

Material	Peso	Costo CLP	URL
Model Resin	1 kg	\$199.756	https://siromax.cl/
Draft Resin	1 kg	\$199.756	
Surgical Guide Resin	1 kg	\$378.727	
Dental LT Clear	1 kg	\$524.214	
Castable wax Resin	1 kg	\$256.334	
Custom Try Resin	A pedido		
Temporary Resin	A pedido		
Permanent Crown Resin	1 kg	\$1.356.933	
IBT Resin	1 kg	\$386.714	

Tabla 6. Análisis de costos de materiales Formlabs

Material	Cantidad	USD c/unitario	CLP c/unitario	Tiempo
Modelos de ortodoncia	9	\$2,10	\$1.974	1 hora
Modelos coronas y puentes	4	\$4,31	\$4.051	2,5 horas
Férulas oclusales	8	\$3,12	\$2.932	2,5 horas
Guías quirúrgicas	9	\$1,28	\$1.203	4 horas 15 min
Restauraciones temporales	15	\$1,28	\$1.203	1 hora 15 min
Coronas permanentes	58	\$2,10	\$1.974	4,5 horas
Bases de prótesis	8	\$5,55	\$5.217	12 horas
Dientes de prótesis	8	\$2,80	\$2.632	5 horas
Máscaras gingivales	15	\$0,36	\$338	4,5 horas

Tabla 7. Análisis de tiempos de procesos y costos asociados al modelo Form3B+

Tecnología	Valor USD	Valor CLP	URL
Form 3B+	\$5.800 + IVA	\$5.452.000 + IVA	https://siromax.cl/
FormWash	\$1.100 + IVA	\$1.034.000 + IVA	
FormCure	\$1.400 + IVA	\$1.316.000 + IVA	
TOTAL	\$8.300 + IVA	\$7.802.000 + IVA	

Tabla 8. Resumen de inversión de maquinaria Formlabs

Modelo	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini
Marca	Phrozen	Phrozen
Software	Phrozen OS, ChituBox	Phrozen OS, ChituBox
Operación	Panel táctil de 5 pulgadas	Panel táctil de 2,8 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB	USB
Tecnología	SLA - LCD	SLA - LCD
Resolución	35 μm	35 μm
Fuente de poder	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad de impresión	90 mm / hr	80 mm / hr
Tamaño	28 x 28 x 46,5 cm	23 x 23 x 34 cm
Volumen impresión	13,4 x 7,5 x 20 cm	13,4 x 7,5 x 13 cm
Peso	14,9 kg	5 kg
Temperado de resina	SI	NO
Requiere post curado	SI	SI
Garantía	1 año extensible	3 meses
Otras características	- Ofrece impresión con resolución 4K a 35 μm - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm - Posee un calentador de resina que optimiza su impresión - Capacitación inicial digital por parte del distribuidor	- Ofrece impresión con resolución 4K a 35 μm - Código abierto a cualquier resina fotopolimerizable a 405 nm - Una de las impresoras mejor evaluadas actualmente
Valor CLP	\$1.676.400 + IVA	\$399.150 + IVA

Tabla 9. Descripción técnica modelos Sonic 4K 2022 y 4K Mini

Material	Peso	Valor CLP	URL
Phrozen Dental Model Ivory	1 kg	\$89.000	Denteeth
Phrozen Aqua Gray 4K	1 kg	\$49.000	3Dental
Phrozen Lavable Gray	1 kg	\$49.000	Denteeth
Prizma Bio Crown	250 gr	\$179.000	Biotech
Prizma Bio Prov	250 gr	\$94.900	Denteeth
Prizma Bio Guide	1 kg	\$179.000	Biotech
Prizma Castable	500 gr	\$79.500	Biotech
Prizma Bio Splint	500 gr	\$99.900	Biotech

Tabla 10. Análisis de costos de materiales Phrozen y Prizma

Tecnología	Valor CLP	URL
Sonic 4K 2022	\$1.676.400 + IVA	https://3dental.cl/

Tecnología	Valor CLP	URL
Sonic Mini 4K	\$399.150 + IVA	https://makerschile.cl/
Creality UW-02	\$182.410 + IVA	https://makerschile.cl/
Total	\$581.560 + IVA	

Tabla 11. Resumen de inversión de maquinaria Phrozen

Proveedor	URL
Denteeth	https://denteeth.cl/solucionesdigitales/
Biotech Chile	https://biotechchile.cl/
3Dental	https://3dental.cl/
Makers Chile	https://makerschile.cl/

Tabla 12. Proveedores de insumos y maquinaria Phrozen

Modelo	Photon Mono M5s – 12K
Marca	Anycubic
Software	Anycubic Photon Workshop 3.1
Operación	Panel táctil de 4,3 pulgadas
Conectividad	Wifi, Ethernet y USB
Tecnología	SLA - LCD
Resolución	19 - 24 μm
Fuente de poder	AC110-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad de impresión	105 mm / hr, 70 mm / hr
Tamaño	29 x 27 x 46 cm
Volumen impresión	21,9 x 12,3 x 20 cm
Peso	8,9 kg
Temperado de resina	NO
Requiere post curado	SI
Garantía	1 año extensible
Otras características	- Precisión de impresión en 12K (11.520 x 5.120 píxeles) - Nivelación automática - 3 veces mayor velocidad de impresión - Detección de resina y calibración automática - Aplicación móvil con información del estado de la impresión y alertas - Código abierto a cualquier resina foto polimerizable a 405 nm
Precio CLP	\$ 620.000 + IVA

Tabla 13. Descripción técnica modelo Photon Mono M5s- 12K

Material	Peso	Valor CLP	URL
Anycubic High Speed Grey	1kg	\$46.138	Mercado3D
Anycubic Castable Green	500 gr	\$59.990	Mas3D
Anycubic Non-Castable	500 gr	\$66.490	MakersChile
KeySplint	1kg	\$498.000	3Dental
KeyGuide	1kg	\$289.000	3Dental

Tabla 14. Análisis de costos de materiales Anycubic y Keysplint

Tecnología	Valor CLP	URL
Photon Mono M5s - 12K	\$620.000 + IVA	https://www.todotoner.cl/
Wash & Cure 2.0	\$159.650 + IVA	https://www.damus.cl/
Total	\$779.650 + IVA	

Tabla 15. Resumen de inversión de maquinaria Anycubic

Proveedor	URL
3Dental	https://3dental.cl/
Makers Chile	https://makerschile.cl/
TodoToner	https://www.todotoner.cl/
Mas3D	https://www.mas3d.cl/
Damus	https://www.damus.cl/

Tabla 16. Proveedores de insumos y maquinaria Anycubic

Marca	Contacto	Oficinas
Siromax	http://siromax.cl/	Santiago
Stratasys	https://www.stratasys.com/	Santiago
Denteeth	https://denteeth.cl/	Santiago, Concepción
Biotech	https://biotechchile.cl/	Santiago, Viña del Mar
Techdent	https://techdent.cl/	Santiago
Expressdent	https://expressdent.cl/	Santiago
3Dental	https://3dental.cl/	Santiago
Damus	https://www.damus.cl/	Santiago

Tabla 17. Otras empresas en Chile distribuidoras de insumos y maquinaria 3D

Maquinaria	Materiales	Costos adicionales
Articuladores	Yeso piedra	Luz
Presurizadores	Cera de modelado	Agua
Prensa	Acrílico	Gas
Máquinas de acabado y pulido	Dientes artificiales	Depreciaciones
Equipos de polimerización	Monómero	Transporte
	Alambres	
	Accesorios	

Tabla 18. Equipo e insumo utilizado para confección de prótesis acrílica

Maquinaria	Materiales	Costos adicionales
Articuladores	Yeso piedra	Luz
Presurizadores	Cera de modelado	Agua
Prensa	Acrílico	Gas
Máquinas de acabado y pulido	Dientes artificiales	Depreciaciones
Equipos de polimerización	Monómero	Transporte
Horno de fundición	Alambres	
Baño electrolítico	Metal Cromo-Cobalto	
	Material refractario	
	Accesorios	

Tabla 19. *Equipo e insumo utilizado para confección de prótesis metálica*

Proceso	Prótesis Acrílica	Prótesis Metálica
Evaluación	1 hora	1 hora
Preparación	1 hora y 15 min	5 horas y 30 min
Diseño	45 min	45 min
Transformación	1 hora y 30 min	1 hora y 30 min
Acabado y pulido	30 min	30 min
Tiempo aproximado	5 horas	9 horas 15 min

Tabla 20. *Resumen de tiempos de proceso de prótesis acrílica y metálica*

Materiales	Prótesis Acrílicas	Prótesis Metálicas	Peso	Valor	URL
Yeso piedra	✓	✓	1 kg	\$4.500	Dentinet
Material refractario	✓	✓	1 kg	\$6.990	NexoDental
Cera de modelado	✓	✓	400 gr	\$4.900	NexoDental
Acrílico termo	✓	✓	250 gr	\$6.910	NexoDental
Monómero auto	✓	✓	210 cc	\$8.700	Dentobal
Dientes artificiales	✓	✓	c/set	\$4.900	Megamed
Accesorios	✓	✓	Variable		
Articuladores dentales	✓	✓	c/u	\$189.900	ExproDental
Presurizadores	✓	✓	c/u	\$200.000	Blasdent
Prensa	✓	✓	c/u	\$329.000	Dentaltech
Equipo para polimerizar	✓	✓	Variable		
Prensa con muflas	✓	✓	c/u	\$10.990	Dentaltech
Máquinas de acabado y pulido	✓	✓	c/u	\$220.000	Dentaltech
Metal Cromo-Cobalto		✓	1 kg	\$130.000	Blasdent
Horno de fundición		✓	Variable (Dependiente de su tipo)		
Arenadores		✓	c/u	\$369.348	DentalLaval

Tabla 21. Costos de inversión aproximados de confección convencional

Estructura completa	Costo unitario CLP	Tiempo de proceso
Prótesis acrílicas	\$15.000	5 horas
Prótesis metálicas	\$35.000	9 horas 15 min

Tabla 22. Resumen de costos y tiempos de proceso de prótesis acrílica y metálica

Método	Costo (8 unidades)	Tiempo estimado
Convencional	\$120.000	32 horas
Digital	\$80.000	22 horas
Diferencia	-33%	-32%

Tabla 23. Resumen comparativo del método convencional y digital

Análisis de prefactibilidad de impresoras 3D para laboratorio dental en Chile

Modelo	Form3B+	Sonic 4K 2022	Sonic 4K Mini	Photon Mono M5s –12K
Tipo	Dental - profesional	Dental - profesional	Dental - semiprofesional	De “escritorio”
Marca	Formlabs	Phrozen	Phrozen	Anycubic
Software	Preform	Phrozen OS, ChituBox	Phrozen OS, ChituBox	Anycubic Photon Workshop 3.1
Operación	Panel táctil de 5,5 pulgadas	Panel táctil de 5 pulgadas	Panel táctil de 2,8 pulgadas	Panel táctil de 4,3 pulgadas
Conectividad	USB, Wifi, Ethernet	USB, Wifi, Ethernet	USB	USB, Wifi, Ethernet
Tecnología	Estereolitografía de bajo esfuerzo (LFS)	SLA - LCD	SLA - LCD	SLA - LCD
Resolución	25 – 300 µm	35 µm	35 µm	19 - 24 µm
Fuente de poder	AC100-220V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC100-240V~ 50 / 60Hz	AC110-240V~ 50 / 60Hz
Velocidad	No entrega	90 mm / hr	80 mm / hr	105 mm / hr, 70 mm / hr
Tamaño	40,5 x 37,5 x 53cm	28 x 28 x 46,5cm	23 x 23 x 34cm	29 x 27 x 46cm
Volumen impresión	14,5 x 14,5 x 18,5cm	13,4 x 7,5 x 20cm	13,4 x 7,5 x 13cm	21,9 x 12,3 x 20cm
Peso	17,2 kg	14,9 kg	5 kg	8,9 kg
Temperado de resina	NO	SI	NO	NO
Requiere post curado	SI	SI	SI	SI
Garantía	1 año extensible	1 año extensible	3 meses	1 año extensible
Precio CLP	\$5.452.000 + IVA	\$1.676.400 + IVA	\$399.150 + IVA	\$ 620.000 + IVA

Análisis de prefactibilidad de impresoras 3D para laboratorio dental en Chile

Puntos a favor	- Excelente servicio de venta y post venta - Capacitaciones y actualizaciones constantes - Gran cantidad de información en la web y un trato personalizado. - Materiales Formlabs reconocidos por su gran calidad y confianza	- Temperado de resina que optimiza los resultados y acabados - Cuenta con un programa de apoyo y capacitaciones de la tecnología y el diseño 3D. - Marca con gran cantidad de materiales de resina dental	- Más económica y con excelentes relaciones calidad-precio - Liviana y de fácil movilidad - Resolución de los resultados impresos en 4K - Es una de las impresoras más populares de uso dental - Marca con gran cantidad de materiales de resina dental - Recomendada para principiantes del laboratorio dental	- Posibilidad de imprimir a 105 mm / hr - Nivelación y detección automática de la resina depositada - Resolución de los resultados impresos en 12K - Gran volumen de impresión
Puntos en contra	- Alto costo de inversión - Código abierto implementado hace prontas actualizaciones - Accesibilidad de materiales y modelos en Chile es reducida y tardía	- Alto costo de inversión - Especificaciones del modelo actualmente son superadas por modelos más económicos	- No existe resina biocompatible que admita resoluciones 4K - Corto periodo de garantía, no se permite extensión	- No existe resina biocompatible que admita resoluciones 12K - No es considerada especialista en estructuras para la industria dental. - Marca cuenta una reducida cantidad de materiales de resina dental.

Tabla 24. Análisis comparativo de modelos de impresión 3D