

**PRODUCCIÓN DE MODELOS FÍSICOS PARA EL ESTUDIO DE
DIENTES HUMANOS MEDIANTE PROTOTIPADO RÁPIDO.**

JUAN DAVID GÓMEZ OSORIO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Diana María Agudelo

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2023

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	9
1. Planteamiento del problema	11
1.1 Descripción.....	11
1.2 Formulación	12
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. Marco teórico.....	15
5. Metodología.....	18
5.1 Tipo de proyecto.....	18
5.2 Método	18
6. Resultados del proyecto.....	20
7. Conclusiones.....	34
8. Recomendaciones	35
9. Referencias bibliográficas	36
10. Bibliografía	37

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Mercado negro de dientes.....	11
Figura 2. Mercado impresiones dentales 3D 2021-2031	16
Figura 3. Diente real sometido a ensayo de dureza	20
Figura 4. Resultado de dureza Rockwell sobre diente real	23
Figura 5. Molar en interfaz del software blender.....	24
Figura 6. Problemas de impresión en filamento	24
Figura 7. Algunas muestras en materiales PLA y ABS	25
Figura 8. Molar con diferente método de curado.....	26
Figura 9. Algunas muestras impresas en resinas de diferentes colores	27
Figura 10. Ejemplo de lámina FEP rayada	27
Figura 11. Diente con defecto de impresión	28
Figura 12. Molar fracturado tras someterse a ensayo de dureza.....	29
Figura 13. Resultado ensayo de dureza sobre molar de resina blanca.....	30
Figura 14. Molar en resina blanca luego de ensayo de dureza	30
Figura 15. Molar siendo trabajado por herramientas rotatorias	31
Figura 16. Prototipo a escala del diente humano, con maxilar, encía, dentina y esmalte.....	32

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Tabla comparativa PLA-ABS-PETG.....	17
Tabla 2. Equivalencia entre las escalas de dureza	22

Resumen

El proyecto comenzó consultando las propiedades requeridas para prototipos dentales, priorizando que se dejaran trabajar con las herramientas empleadas en odontología y se comportaran como dientes reales. La Universidad de Antioquia buscaba proporcionar a los estudiantes de odontología elementos que fueran muy semejantes a los dientes reales para sus laboratorios. Se realizaron pruebas de dureza en muestras reales, superando la dureza del aluminio. Luego, se tomaron dientes escaneados de humanos y se procesaron en programas de modelado 3D para luego imprimir en diferentes materiales poliméricos, superando desafíos técnicos en el proceso. Se realizaron también impresiones en resina de diferentes colores y se aplicaron pruebas de dureza. Aunque los dientes de resina mostraron ser duros pero frágiles, se concluyó que son adecuados para ciertas aplicaciones odontológicas. Las pruebas de laboratorio con herramientas odontológicas demostraron la viabilidad de utilizar estos prototipos para el aprendizaje práctico de los estudiantes de odontología.

Palabras claves: Prototipos dentales, impresión 3D, dientes, odontología

Abstract

The project began consulting the properties required for dental prototypes, prioritizing that they let work with the tools used in dentistry and behave as real teeth. The University of Antioquia sought to provide dentistry students with elements that were very similar to real teeth for their laboratories. Hardness tests were performed in real samples, exceeding the hardness of aluminum. Then, human scanned teeth were taken and processed in 3D modeling programs and then print in different polymeric materials, exceeding technical challenges in the process. Resin impressions of different colors were also made and hardness tests were applied. Although resin teeth showed to be hard but fragile, it was concluded that they are suitable for certain dental applications. Laboratory tests with dental tools demonstrated the viability of using these prototypes for practical learning of dentistry students.

Keywords: Dental prototypes, 3D printing, teeth, dentistry

Glosario

ABS: Es un material termoplástico llamado Acrilonitrilo Butadieno Estireno y es ampliamente utilizado en la impresión 3D. Este polímero es conocido por su resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones. Este material durante la impresión puede desprender un olor característico por lo cual es recomendable imprimir en una zona ventilada o con filtración adecuada.

Dentina: Capa intermedia del diente, está por debajo del esmalte, no es tan dura como el esmalte, sin embargo, es dura y calcificada, esta capa es la que forma la mayor parte del diente, la dentina proporciona estímulos como presión y/o cambios de temperatura.

Esmalte del diente: Es la capa más externa y dura del diente, esta no posee células vivas y por lo tanto no puede regenerarse, esta capa del diente protege la estructura interna y debido a su superficie lisa y dura permite la función de masticar.

Filamento: Material utilizado en la impresión 3D, como PLA, ABS o PETG, que se funde y deposita capa por capa para construir la pieza.

Impresión 3D: Es un método de fabricación aditiva, es decir, es un proceso por el cual se fabrican piezas en tercera dimensión mediante capas de material.

Modelado Digital Dental: Es la creación de representaciones digitales tridimensionales de dientes y estructuras relacionadas utilizando software CAD.

PLA: Es un material termoplástico llamado ácido poliláctico biodegradable y biocompatible utilizado comúnmente en la impresión 3D no es tóxico y su punto de fusión es bajo por lo tanto es fácil imprimir con este material.

PETG: El Polietilentereftalato Glicol es un material termoplástico utilizado comúnmente en la impresión 3D, posee una alta resistencia y durabilidad, además, ofrece una buena resistencia a

productos químicos y solventes que lo hace adecuado para aplicaciones donde pueda estar en contacto con químicos y a diferencia del PLA es menos propenso a absorber humedad del ambiente.

Pulpa del diente: Es la parte mas interna del diente, es blanda y contiene nervios y vasos sanguíneos, al igual que la dentina transmite estímulos como cambios de temperatura, además, transmite la sensación de dolor.

Introducción

Remontarse a la historia de la odontología y la importancia de la misma en la evolución del ser humano, es entender la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan avanzar y evolucionar en este campo de la ciencia y no solo a nivel médico, sino también estético, donde vemos muchos casos de innovación que buscan, mejorar cada vez más, la salud bucal de las personas. La odontología en alguna forma ha sido practicada desde tiempos antiguos. Los registros arqueológicos más antiguos referentes a tratamientos dentales datan del año 2600 a. C. Los investigadores descubrieron documentos egipcios que mencionaban a sanadores y profesionales médicos ocupándose de situaciones relacionadas con la salud bucal (HIDALGO, 2021).

La odontología es una de las ciencias de la salud, que se dedica al estudio de las enfermedades de las encías y los dientes, siendo esta última de gran importancia a nivel académico, ya que el uso de dientes naturales en el proceso de aprendizaje de los estudiantes es fundamental para adquirir conocimientos en pro de una salud bucal óptima y contribuir a mantener la calidad de vida de las personas. Sin embargo, debido a que por ley el adquirir dientes humanos tiene muchos requisitos, se ha dificultado cumplir con las necesidades académicas; por tal motivo se requirió buscar otras alternativas y se hizo necesario crear un prototipo de modelo físico de dientes humanos, que complemente las prácticas y estudios realizados por los estudiantes de la facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, con el fin de que sea de fácil acceso, más económicos y una solución más óptima e integral para quien lo requiera.

Contar con prototipos que facilitan el estudio del diente en toda su extensión, es avanzar hacia nuevos desarrollos e investigaciones. Teniendo de base prototipos muy cercanos a la realidad, como por ejemplo aquellos que se asemejan en toda su geometría y que cumplen con los requisitos y las necesidades de los estudiantes. Partiendo de dichas necesidades, combinadas con los avances en la ciencia que permiten desarrollar, prototipos con la impresión 3D, con resinas líquidas, aditivos y porcelanas, es facilitar a los estudiantes las investigaciones y nuevos desarrollos en este campo, convirtiéndose así este proyecto, en un proyecto macro, llamado

Teleodontología, firmado entre la institución universidad pascual bravo y la Facultad de Odontología de la universidad de Antioquia.

Esta introducción establece el contexto para explorar a fondo la aplicación del prototipado 3D en la creación de modelos de dientes humanos. A lo largo de este trabajo, examinaremos las tecnologías y métodos empleados en el proceso de prototipado 3D, las aplicaciones prácticas en la formación y educación dental, así como los desafíos y las oportunidades futuras que esta tecnología presenta en el ámbito odontológico.

Este trabajo surge a raíz de un proyecto que se inicia en un convenio de la Universidad de Antioquia y la Institución Universitaria Pascual Bravo, en el cual se da la oportunidad de aplicar conocimientos adquiridos en el pregrado y así ratificar múltiples competencias obtenidas durante todo el proceso universitario y optar por el título de ingeniero mecánico.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Los dientes humanos son una herramienta didáctica muy importante para los estudiantes de odontología ya que, son su primer contacto para sus prácticas (Sánchez & Reyes, 2023). Hoy en día es muy difícil que los estudiantes accedan a los dientes humanos debido a que la obtención de dientes reales legalmente posee una gran cantidad de requisitos, lo que ha llevado a muchos estudiantes a ingresar en un comercio ilegal de dientes, implicando un manejo no bioseguro de los dientes (origen desconocido de ellos que puede ser de profanación de tumbas) (Dental, 2019) y que posteriormente no se vean los estudiantes implicados legalmente, ya que, no se sabe el origen de estos (Ver Figura 1), por tal motivo los estudiantes no están logrando obtener los dientes para su aprendizaje y por esto se requiere buscar otras alternativas.



Figura 1. Mercado negro de dientes

Fuente: Extraído de <https://www.odontologiavirtual.com/2014/02/el-mercado-negro-de-dentaduras-para-los.html>

Por la falta de bancos de dientes la UdeA busca elementos similares a los dientes humanos para el aprendizaje de sus estudiantes de odontología, por tal motivo se creó un convenio con la

Institución Universitaria Pascual Bravo en el que se fabricaron prototipos de dientes humanos mediante impresiones 3D en diferentes materiales a los que se les realizaron pruebas donde se determinó si era factible el uso de estos como elementos didácticos para el aprendizaje y prácticas de los estudiantes.

1.2 Formulación

¿Es posible que la Institución Universitaria Pascual Bravo logre producir modelos similares a los dientes humanos mediante prototipado rápido en los cuales los estudiantes de odontología puedan realizar sus prácticas de aprendizaje?

2. Justificación

La fabricación de dientes humanos mediante impresión 3D ofrece a los estudiantes de odontología beneficios significativos. Esta metodología brinda acceso constante y ético a modelos dentales personalizados, permitiendo la reproducción precisa de la anatomía dental y la representación de diversas condiciones bucales. Además, facilita la práctica de una amplia gama de procedimientos, desde limpiezas hasta tratamientos más complejos, lo que ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades prácticas antes de enfrentarse a pacientes reales. La variabilidad en la creación de modelos permite la exploración de distintas situaciones clínicas. Además de ser una herramienta educativa efectiva, la impresión 3D reduce costos a largo plazo y fomenta la ética al eliminar la necesidad de depender de dientes reales, abordando así problemas éticos asociados con su obtención. Esta innovación tecnológica integra la enseñanza dental con las últimas tecnologías, preparando a los estudiantes para el uso de herramientas emergentes en la práctica clínica. En conjunto, la impresión 3D en la fabricación de dientes humanos mejora la calidad y accesibilidad de la educación odontológica.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Producir modelos físicos de dientes humanos por medio de prototipado rápido para el estudio de la facultad de odontología de la Universidad de Antioquia.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar dientes didácticos, utilizando impresión 3d de la estructura del diente para el estudio de los estudiantes de la facultad de odontología de la UdeA.
- Imprimir modelos para la obtención de prototipos de dientes humanos por medio de resinas.
- Experimentar con diferentes polímeros, resinas y aditivos, buscando alternativas de materiales con los que los estudiantes interactúen de la manera más similar que con un diente humano real.

4. Marco teórico

El avance tecnológico en la odontología ha permitido la adopción de técnicas como el prototipado 3D para mejorar la práctica clínica y educativa, ya que la representación tridimensional de la anatomía dental proporciona una comprensión más completa de la estructura y las relaciones espaciales, crucial para diagnósticos precisos y tratamientos efectivos.

La impresión 3D ha revolucionado la fabricación de modelos dentales, ofreciendo una técnica eficiente y precisa para crear réplicas tridimensionales ya que facilita la formación de profesionales dentales al proporcionar modelos anatómicos precisos para prácticas clínicas simuladas, además, permite a los profesionales planificar tratamientos, como cirugías dentales y colocación de implantes, de manera más precisa. Los materiales más comúnmente utilizados son el PLA, ABS y PETG, cada uno con características específicas. El PLA, derivado de recursos naturales, destaca por su facilidad de impresión y bajo nivel de toxicidad, siendo preferido para la fabricación de modelos dentales educativos. Por otro lado, el ABS, conocido por su durabilidad y resistencia a impactos, se elige cuando se busca una mayor robustez en modelos para prácticas clínicas, aunque se debe considerar la ventilación adecuada debido a sus posibles olores. El PETG combina resistencia y facilidad de impresión, siendo una opción versátil y segura para diversos usos en odontología, proporcionando resistencia, claridad y bajo nivel de toxicidad. La elección entre estos materiales dependerá de las necesidades específicas de cada aplicación, equilibrando consideraciones como resistencia, seguridad y facilidad de impresión

El prototipado 3D dental lleva algunos años en el mercado solo que en América latina no se ha implementado casi como podemos observar en la Figura 2.

Se utiliza mucho para ayudar a los odontólogos en la planificación de tratamientos, en la fabricación de prótesis con resinas especiales de uso dental, en coronas, puentes e incluso la fabricación de dispositivos que ayudan a colocar toda la aparatología ortodóncica de una manera más eficiente y reduciendo los tiempos de los tratamientos (Rivera-Gonzagaa, Zamarripa-Calderón, Ancona-Meza, Grazioli, & Cuevas-Suárez, 2021).

La producción de réplicas de dientes individuales tiene dos aplicaciones fundamentales en el ámbito de la odontología, los autotrasplantes de dientes y los implantes análogos de raíces dentales. Ambos procedimientos demandan un nivel de precisión excepcional. El objetivo principal de este estudio fue desarrollar y evaluar un método destinado a la producción de réplicas de dientes individuales mediante la impresión 3D (Sokolowski, y otros, 2019)

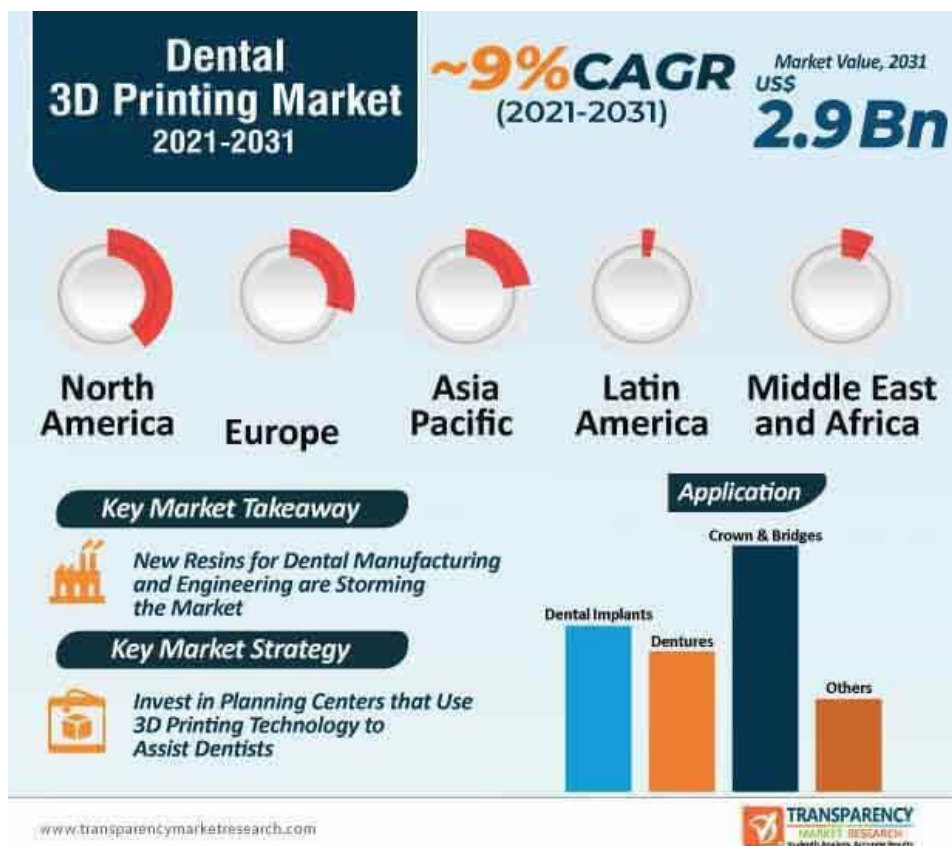


Figura 2. Mercado impresiones dentales 3D 2021-2031

Fuente: Extraído de <https://www.transparencymarketresearch.com/dental-3d-printer-market.html>

Por todo lo anterior también se considera necesario la implementación de un prototipado 3D de dientes humanos en diferentes materiales de impresión 3D tanto de filamento como resina para que también se utilicen como métodos didácticos de aprendizaje para los estudiantes de odontología y así puedan realizar sus prácticas y aprendan a planear tratamientos a sus pacientes de manera adecuada antes de enfrentarse a casos reales.

Entre los materiales que se utilizaron en filamento para el prototipado 3D se utilizaron PLA, ABS y PETG y en la Tabla 1 podemos observar las propiedades de estos.

Propiedades	PLA	ABS	PETG
Precio	20€ -25€	20€-25€	25€-30€
T fusión	200-215°C	220-240°C	230-250°C
T cama caliente	0-40°C	90-110°C	60-90°C
Ventilador capa	100%	0%	30-50%
Densidad [g/cm3]	1.24	1.07	1.27
Facilidad de impresión	Muy alta	Muy baja	Alta
Calidad de impresión	Muy alta	Media	Alta
Resistencia	Alta	Media	Media-baja
Rigidez	Muy alta	Media	Baja
Resistencia al impacto	Muy baja	Muy alta	Media
Resistencia térmica	Muy baja (30°C)	Muy alta (<100°C)	Alta (80°C)
Adhesión entre capas	Media	Baja	Alta
Olor	Nada	Mucho	Poco

Tabla 1. Tabla comparativa PLA-ABS-PETG

Fuente: Extraída de <https://of3lia.com/pla-vs-abs-vs-petg-comparativa/>

Por otro lado, la necesidad de un análisis bioético se hace evidente dada la falta de una gestión adecuada en Latinoamérica en cuanto a la obtención de órganos dentales, su utilidad y su necesidad en el proceso educativo. La literatura destaca la carencia de un manejo apropiado en la región en relación con la adquisición de dientes humanos, así como su utilidad y la necesidad de su uso en la enseñanza (Terreros, Macay, Aarrata, & Reyes, 2021)

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Este proyecto es de tipo experimental, ya que, cuando implica la realización de experimentos o investigaciones sistemáticas con el objetivo de recopilar datos originales y analizarlos para responder a una hipótesis específica o resolver un problema de investigación. En este tipo de enfoque, el estudiante realiza una serie de procedimientos o pruebas con el propósito de validar o refutar una suposición, comprobar la viabilidad de una teoría o evaluar la eficacia de un método (Sendín, 2023)

5.2 Método

Se inició este proyecto consultando que propiedades se requerían para estos prototipos directamente con el encargado del proyecto en representación de la UdeA, indicó que principalmente los prototipos debían dejarse pulir y comportarse de manera semejante a un diente real para así, los estudiantes de la facultad de odontología de la Universidad de Antioquia tengan acceso a estos elementos y puedan cumplir con las expectativas frente a sus laboratorios y tener más que bases teóricas, tener unas bases prácticas sin tener que preocuparse por la dudosa adquisición de dientes reales.

Posteriormente se adquirieron unas muestras de dientes reales por parte de la Universidad de Antioquia a los cuales se les realizó ensayo de dureza para tener presente esta propiedad. Se realiza mediante software CAD modelamiento y edición de dientes que fueron escaneados 3D para proceder a realizar impresiones.

Luego se procedió con la impresión de los prototipos en los diferentes materiales tanto de filamento como de resina, para luego seguir con las pruebas físicas donde se obtienen resultados con los que se determinó la factibilidad de estos prototipos para el estudio de los estudiantes sobre estos elementos. Además, se realizó un prototipo escalado donde se logra observar las

partes del diente para una mejor interpretación y familiarización de los estudiantes a la hora de su estudio.

6. Resultados del proyecto

Posteriormente se obtuvieron algunas muestras de dientes humanos reales por parte del profesor de odontología de la UdeA, a los cuales se le realizó ensayo de dureza para identificar que tan duros podían llegar a ser, fue algo tedioso ya que por su geometría era difícil posicionarlos para someterlos al ensayo, finalmente se logró realizar el ensayo con una de las muelas como se observa en la figura 3.



Figura 3. Diente real sometido a ensayo de dureza

Fuente: Imagen propia (2023)

Luego de realizarle la prueba se obtuvo un resultado de 97.2 en dureza Rockwell B (Figura 4), superando la dureza del aluminio que oscila entre 140-160 HB (dureza Brinell) que equivale 79-85 HRB (dureza Rockwell B). Ver tabla 2. Es un dato bien interesante ya que supera la dureza de

algunos metales, además, la dureza de los dientes puede variar según la edad y la calidad de vida de la persona. (Affur, Gil, & Bessone, 2020).

Después se procedió a realizar las configuraciones y ediciones de dientes mediante software CAD, entre ellos se utilizó meshmixer, inventor y blender para su modelado final. Figura 5.

Brinell Diámetro Huella	Brinell Dureza HB	Rockwell Dureza Ha	Rockwell Dureza HRC	Rockwell Dureza HRC	Vickers Dureza HV	Shore	Resistencia a la tracción [kg/mm²]
2.35	682	64.0	-	65	885	91.0	232.9
2.40	652	83.0	-	63	820	87.2	221.5
2.45	627	81.5	-	61	765	84.8	213.5
2,5	600	80.5	-	59	633	76.5	188.7
2.55	578	79.5	-	59	717	81.5	204.0
2.60	555	79.0	120	57	675	78.5	195.1
2.65	534	78.0	119	54	598	73.5	181.3
2.70	514	77.0	119	52	567	71.0	174.9
2.75	495	76.5	117	51	540	68.5	168.0
2.80	477	75.5	117	49	515	66.7	162.2
2.85	461	74.4	116	48	494	65.0	157.0
2.90	444	73.5	115	46	472	63.0	150.6
2.95	429	73.0	115	45	454	61.0	145.6
3.00	415	72.5	114	44	437	59.0	140.0
3.05	401	71.5	113	42	420	57.2	136.0
3.10	388	71.0	112	41	404	65.8	132.0
3.15	375	70.5	112	40	389	54.0	127.5
3.20	363	70.0	110	39	375	52.2	123.4
3.25	352	69.5	110	38	363	50.5	120.0
3.30	341	68.5	109	36	350	49.2	115.9
3.35	331	68.0	109	35	339	48.0	112.4
3.40	321	67.5	108	34	327	46.7	109.1
3.45	311	67.0	108	33	316	45.2	105.6
3.50	302	66.5	107	32	305	44.5	102.7
3.55	293	66.0	106	31	296	43.2	99.6
3.60	285	65.5	105	30	287	42.0	96.9
3.65	277	65.0	104	29	279	41.0	94.2
3.70	269	64.5	104	28	270	40.0	91.5
3.75	262	64.0	103	27	263	39.2	89.1
3.80	255	63.0	102	25	256	38.5	86.7

3.85	248	62.5	102	24	248	37.5	84.3
3.90	241	62.0	100	23	241	36.5	81.9
3.95	235	61.5	100	22	235	35.7	79.9
4.00	229	61.0	99	21	229	35.0	77.9
4.05	223	60.5	98	20	223	34.0	75.8
4.10	217	-	97	18	217	33.0	73.8
4.15	212	-	96	17	212	32.5	72.1
4.20	207	-	96	16	207	32.0	70.4
4.25	202	-	95	15	202	31.2	68.7
4.30	197	-	94	14	197	30.2	67.0
4.35	192	-	93	13	192	29.5	65.3
4.40	187	-	92	11	187	29.0	63.6
4.45	183	-	91	10	183	28.5	62.2
4.50	179	-	90	9	179	28.0	60.9
4.55	174	-	89	7	174	27.5	59.2
4.60	170	-	88	6	170	26.5	57.8
4.65	166	-	87	4	166	25.5	56.3
4.70	163	-	86	3	163	25.0	55.4
4.75	159	-	85	1	159	24.5	54.0
4.80	156	-	84	0	156	24.0	53.0
4.85	153	-	82	-	153	23.0	52.0
4.90	149	-	81	--	149	23.0	50.7
4.95	146	-	80	--	146	22.0	49.6
5.00	143	-	79	-	143	22.0	48.6
5.05	140	-	78	-	140	21.0	47.6
5.10	137	-	77	-	137	21.0	46.6
5.15	134	-	76	-	134	21.0	45.6
5.20	131	-	74	-	131	20.0	44.5
5.25	128	-	73	-	128	20.0	43.5
5.30	126	-	72	-	126		42.8
5.35	124	-	71	-	124		42.2
5.40	121	-	70	-	121		41.2
5.45	118	-	69	-	118		40.1
4.50	116	-	68	-	116		39.4
5.55	114	-	67	-	114		38.8
5.60	112	-	66	-	112		38.0
5.65	109	-	65	-	109		37.1
5.70	107	-	64	-	107		36.4
5.75	105	-	62	-	105		35.7
5.80	103	-	61	-	103		35.0

Tabla 2. Equivalencia entre las escalas de dureza

Fuente: Extraída de <https://www.cemausa.com/docs/DUREZA.pdf>



Figura 4. Resultado de dureza Rockwell sobre diente real
Fuente: Imagen propia (2023)

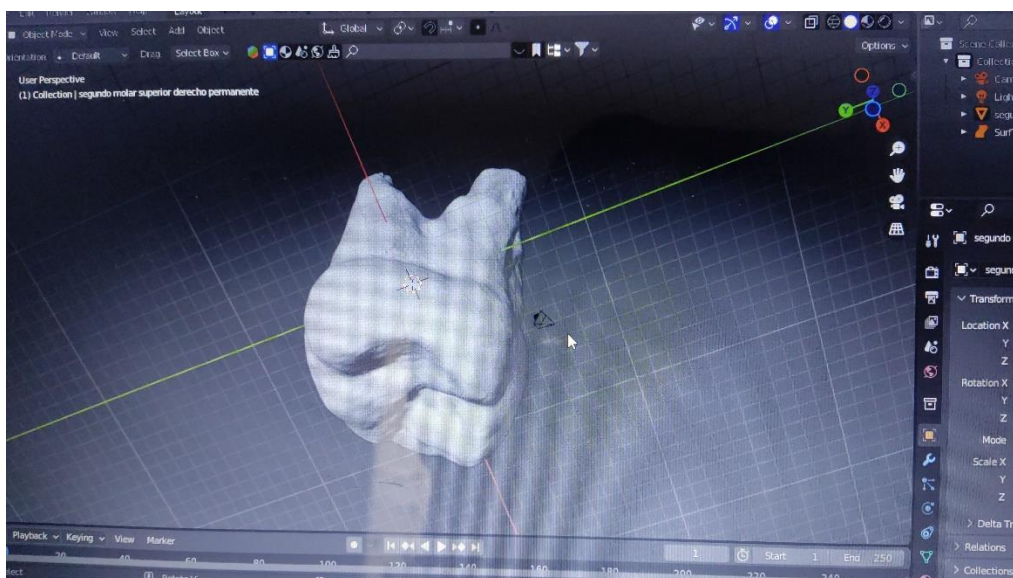


Figura 5. Molar en interfaz del software blender
Fuente: Imagen propia (2023)

Luego de tener varios modelos de dientes se procedió a configurar impresiones en impresora de filamento para imprimir en PLA, ABS y PETG, mediante el software Ultimaker Cura se configuraron los parámetros de impresión, aunque, este proceso se entorpeció bastante la continuidad del proyecto debido a fallos en las impresiones (Figura 6) ya que por la posición de los dientes y soportes se despegaban de la cama de impresión lo que generaba daño en las piezas, se implementaron varios métodos para corregir este problema como fue la variación de los parámetros de impresión como temperatura de la boquilla de impresión, temperatura de la cama que es donde reposan las piezas que se están imprimiendo y, además, se utiliza laca para mejorar la adhesión de las piezas a la base. La laca utilizada fue laca para cabello, la cual cumplía la función de adhesión.

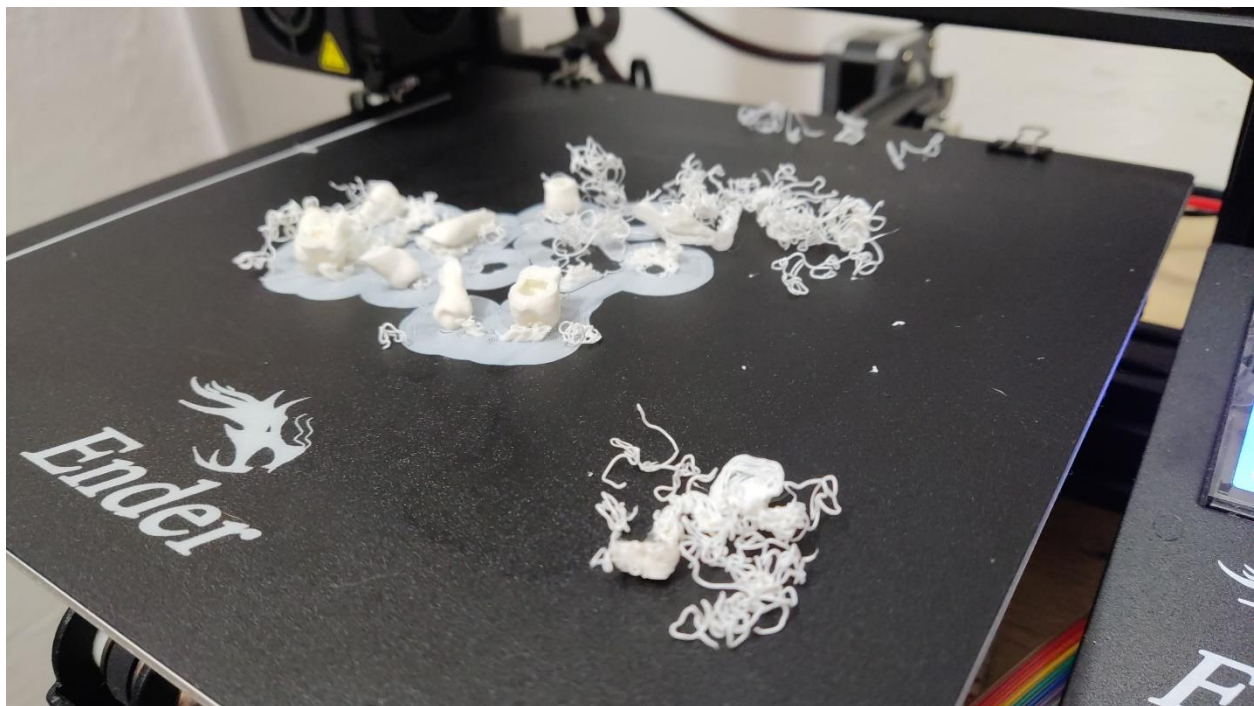


Figura 6. Problemas de impresión en filamento
Fuente: Imagen propia (2023)

Con estas alternativas que se utilizaron e inclusive con cambio de software a Creality slicer se dió solución a los problemas presentados para la impresión y se lograron fabricar varias muestras

en los tres materiales que fueron PLA, ABS y PETG, cada uno de estos teniendo algunas propiedades que los hacen diferentes como se aprecia en la tabla 1. En la figura 7 se observan algunas muestras que fueron impresas en PLA y otras en ABS.

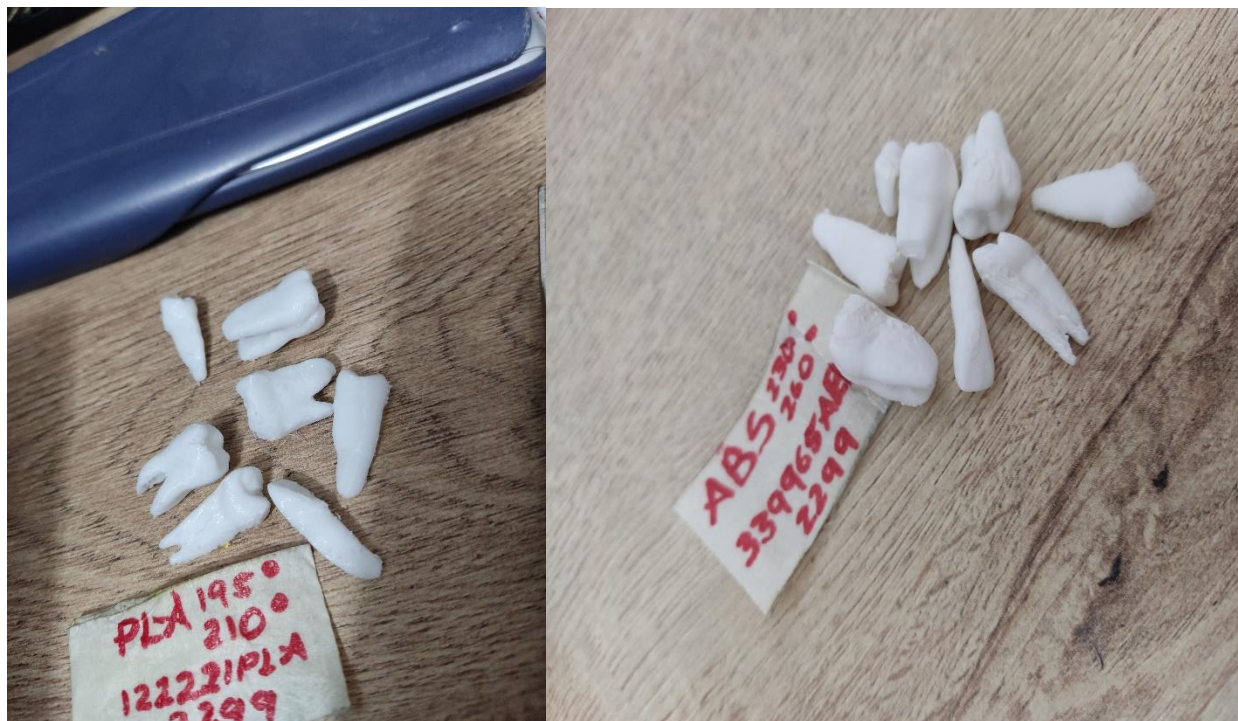


Figura 7. Algunas muestras en materiales PLA y ABS

Fuente: Imagen propia (2023)

Posterior a todas las impresiones en filamento se procedió a realizar las impresiones en resina de varios colores para analizar si eran notables las propiedades según el color, se usaron colores como el blanco, verde, transparente y naranja. Antes de configurar y posicionar los dientes en Anycubic Photon workshop que fue el software utilizado para estas impresiones, se realizó una buena calibración de la máquina para garantizar un buen trabajo. La calibración se hacía por cada impresión, es decir, se retornaba la resina sobrante a su botella filtrándola, se limpiaba por cada impresión tanto la cubeta como cama de impresión y todo aquello que fuera alcanzado por la resina y luego de esto nivelar la cama para que quedara paralela a la pantalla de la impresora y nivelada.

Para las impresiones en resina, luego de extraerlas se debe retirar la resina que queda alrededor de la pieza, es decir el exceso de resina alrededor de la impresión y también, se deben someter a

un foto curado, por ejemplo, exponerlos a la luz solar o a cualquier fuente de rayos UV para que las piezas curen y solidifiquen de manera adecuada. En este caso se utilizaron varias formas de curado para poder analizar la mejora de sus propiedades según su curado. Las primeras impresiones fueron sumergidas en alcohol para limpiar los dientes de la resina sobrante que cubre la capa superficial y posterior se exponen a la luz del día para finalizar su curado. Debido a los climas de la ciudad otras impresiones, además de la limpieza en alcohol fueron sometidas a luz ultravioleta mediante lámpara. Por último, también se realizaron impresiones las cuales no fueron sumergidas en alcohol, si no, que fueron directamente expuestas a luz ultravioleta, en la cual se evidenció cambio en la textura superficial del diente, ya que, estos conservaban brillo como se observa en la figura 8.



Figura 8. Molar con diferente método de curado

Fuente: Imagen propia (2023)

Se realizaron impresiones de varias muestras en los colores mencionados anteriormente. Ver figura 9. Pero al igual que en las impresiones con filamentos, se presentaron algunos inconvenientes, ya que, aparecían ciertas perforaciones en algunos dientes lo que dañaba la impresión, se consulta sobre el problema y se determina que el problema era la calidad de la

lámina FEP. Figura 10. Se realizó cambio de esta lámina y se procedió nuevamente a la calibración la impresora, luego se siguieron imprimiendo prototipos para tener un buen banco para realizar las pruebas requeridas a estos y poder analizar su comportamiento.



Figura 9. Algunas muestras impresas en resinas de diferentes colores
Fuente: Imagen propia (2023)

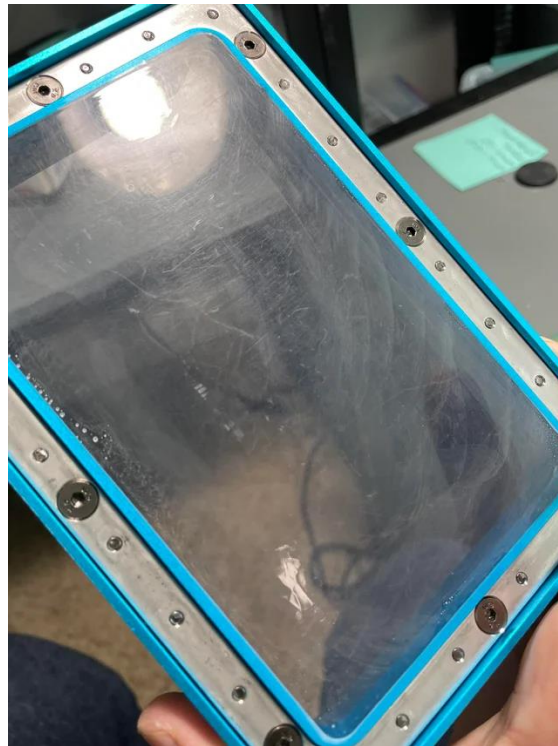


Figura 10. Ejemplo de lámina FEP rayada

Fuente: Extraída de

https://www.reddit.com/r/AnycubicPhoton/comments/q2r0a7/when_do_i_change_my_fep/?rdt=40747

En la figura 11 se pueden apreciar las perforaciones que dañaban algunos dientes independientemente de su posición y configuración.



Figura 11. Diente con defecto de impresión

Fuente: Imagen propia (2023)

Cuando se lograron obtener varias muestras de todos los colores se acude al laboratorio para realizar pruebas de dureza para todos los materiales tanto de filamento como de resina. Se halla que los materiales de filamento son más dúctiles y en indentador de la máquina de ensayo de dureza los penetraba antes de poder arrojar cualquier resultado. Se continuó con los ensayos para los dientes en resina, en el cual se observó que es un material duro pero frágil, el cual, al ser sometido a presión se fracturan. Figura 12.



Figura 12. Molar fracturado tras someterse a ensayo de dureza
Fuente: Imagen propia (2023)

Estas pruebas de dureza fueron realizadas en varios dientes de los diferentes colores y materiales sin obtener mayor variación en los resultados, los dientes que fueron curados con luz UV sin retirar el exceso de resina con alcohol quedaron más blandos y dúctiles, por otro lado solo hubo una excepción sobre un molar de resina blanco, el cual, soportó el ensayo y la máquina logró arrojar un resultado, pero analizando el caso, este pudo soportar la carga debido a que el indentador no solo tocó la pieza con la punta del cono, sino también con parte de la conicidad lo cual amplió el área de contacto y por esta razón la presión fue menor permitiendo que el diente aguantara más tiempo antes de dejarse penetrar. En la figura 13 se observa el resultado y en la figura 14 se observa el diente luego del ensayo.



Figura 13. Resultado ensayo de dureza sobre molar de resina blanca
Fuente: Imagen propia (2023)



Figura 14. Molar en resina blanca luego de ensayo de dureza
Fuente: Imagen propia (2023)

Luego de haber terminado todas las pruebas de dureza, se intentó buscar con el profesor a cargo del proyecto de la universidad de Antioquia la forma de que realizaran pruebas sobre los prototipos con las diferentes herramientas que ellos emplean pero al no obtener respuesta, se averiguaron otros sitios sin tener comunicación asertiva, se decidió realizar pruebas personalmente, implementando un motor tool con diferentes fresas y así determinar el comportamiento del diente y su respuesta frente a esto.

Tanto los dientes en filamento como los de resina mostraron respuestas positivas frente el trabajo del motor tool sobre ellos demostrando que se pueden realizar trabajos de laboratorio para los estudiantes de odontología y garantizar la interacción continua con dientes para su aprendizaje. En la figura 15 observamos un diente sometido a trabajo con motor tool.

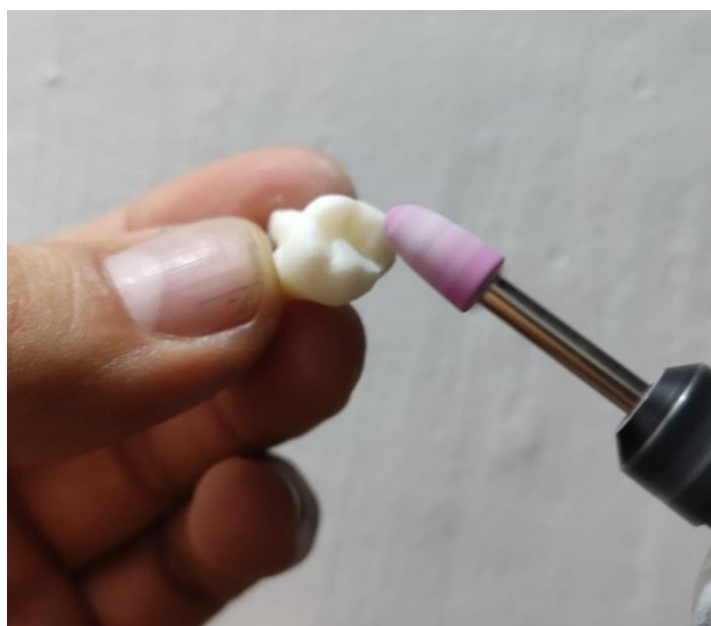


Figura 15. Molar siendo trabajado por herramientas rotatorias

Fuente: Imagen propia (2023)

Al terminar todas las pruebas se determina que es factible el trabajo de estudiantes de odontología sobre estos prototipos para fortalecer más su aprendizaje y tengan mayor trabajo teórico práctico en los cuales puedan fortalecer las competencias necesarias antes de enfrentarse a un paciente real.

Posterior a todas las pruebas realizadas en los prototipos a escala real de los dientes humanos se procedió a diseñar una sección completa de un diente en escala aumentada desde su maxilar, donde se puede apreciar la encía, la dentina y el esmalte del diente (Figura), con el fin de ser un elemento didáctico de gran ayuda para la comprensión de la estructura bucal para todos los estudiantes de odontología, además, de las personas que lleguen a necesitar una mejor visualización del diente humano.



Figura 16. Prototipo a escala del diente humano, con maxilar, encía, dentina y esmalte
Fuente: Imagen propia (2023)

Entre los resultados obtenidos se visualiza que los dientes fabricados en filamento son blandos y no soportaron la prueba de dureza HRB, los dientes impresos en resina son frágiles y se reventaron en el punto donde el indentador se apoyaba, aunque un solo diente soportó el ensayo y logró arrojar resultado, analizando este caso particular se nota que el apoyo del indentador no solo fue en la punta, si no, que por la geometría de la muela, el indentador logró tener contacto también en su parte cónica, es decir, mayor área superficial en contacto y esto reduce la presión generada en el punto del ensayo.

Para los ensayos de sometimiento a trabajo del instrumental rotatorio dental y sus fresas, se nota un excelente comportamiento sobre los dientes impresos en resina, se observó una resistencia considerable a la abrasión de las fresas, lo que permitirá al estudiante realizar prácticas adecuadamente.

7. Conclusiones

En conclusión, la fabricación de dientes didácticos a escala mediante impresión 3D de la estructura dental ha demostrado ser una estrategia educativa valiosa para los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia. Esta iniciativa no solo ha proporcionado modelos anatómicos precisos y detallados que facilitan el estudio teórico de la anatomía dental, sino que también ha permitido una interacción práctica más efectiva, mejorando así la comprensión y aplicación de los conocimientos adquiridos.

En resumen, la experimentación con diversas resinas y filamentos fue crucial en la búsqueda de alternativas de materiales para la fabricación de dientes que presenten un comportamiento apto para los trabajos que realizan los estudiantes de odontología en sus prácticas.

Se concluye mediante las pruebas realizadas que los dientes impresos en resina son los más aptos para las prácticas de los estudiantes de la facultad de odontología de la Universidad de Antioquia debido a su buen comportamiento frente a las herramientas utilizadas por los odontólogos, además, se concluye que es una gran herramienta no solo para esta muestra de la población, si no, para todo estudiantes, profesional y aquel que lo requiera para tener mayor comprensión frente a las situaciones que presenten.

En resumen, la impresión 3D es una gran herramienta para el estudio de odontología, ya que, se pueden simular los casos requeridos en cuanto a los diferentes problemas bucales que se pueden presentar y así los estudiantes tengan mejor comprensión frente a cada situación antes de enfrentarse a clínica real.

8. Recomendaciones

Se recomienda considerar la generación de bases que proporcionen un mejor apoyo tanto para los dientes en la superficie como para el indentador sobre el prototipo durante la realización de ensayos de dureza. La ejecución de los ensayos se vio dificultada por las geometrías irregulares de los dientes, y la implementación de bases más estables puede contribuir a una ejecución más efectiva y precisa de dichas pruebas.

Se sugiere la posibilidad de generar más componentes bucales para ampliar la interacción de los estudiantes con estos prototipos. Esto permitiría a los estudiantes aclarar de manera más efectiva cualquier duda que pueda surgir durante el proceso de aprendizaje, mejorando así la comprensión práctica de la anatomía dental y fortaleciendo sus habilidades clínicas.

9. Referencias bibliográficas

- Affur, M. C., Gil, M. A., & Bessone, G. G. (2020). Análisis del espesor de los tejidos duros en la dentición permanente humana. *ODONTOLOGÍA SANMARQUINA*.
- Dental, O. (21 de 08 de 2019). *El «Mercado Negro» de dientes para los aspirantes a Dentista*. Obtenido de <https://www.odontologiavirtual.com/2014/02/el-mercado-negro-de-dentaduras-para-los.html>
- HIDALGO, D. J. (26 de Enero de 2021). *La Historia De La Odontología, Una Pequeña Línea Del Tiempo Con Los Momentos Más Destacados*. Obtenido de <https://www.clinicadentalurbina.com/noticias/la-historia-de-la-odontologia-momentos-mas-destacados/#:~:text=Los%20primeros%20registros%20arqueol%C3%B3gicos%20sobre,tomaban%20en%20cuenta%20lo%20est%C3%A9tico>.
- Rivera-Gonzagaa, J. A., Zamarripa-Calderón, J. E., Ancona-Meza, A. L., Grazioli, G., & Cuevas-Suárez, C. E. (2021). *La tecnología de impresión 3D utilizada en odontología*. Obtenido de Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo, 9(18), 196-198.: <https://doi.org/10.29057/icsa.v9i18.6634>
- Sánchez, V. S., & Reyes, Y. Y. (2023). Percepción del aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad Santo Tomás sobre el uso de los ambientes simulados. Bucaramanga, Colombia.
- Sendín, J. F. (2023). *Diseño experimental y análisis estadístico*. Obtenido de <https://aulavirtual.um.es/access/content/group/COLLAB-x5vsnmqzqac8cs9edm6rhxm/DISE%C3%91O%20EXPERIMENTAL%20Y%20AN%C3%81LISIS%20DE%20DATOS/DEyAE%20presentaci%C3%B3n.pdf>
- Sokolowski, A. A., Sokolowski, A. A., Kammerhofer, J., Madreiter-Sokolowski, C. T., Pagador, M., Koller, M., . . . Wegscheider, W. A. (2019). *Evaluación de la precisión de réplicas de dientes impresas en 3D*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31840140/>
- Terreros, D. M., Macay, P. R., Aarrata, D. J., & Reyes, D. A. (2021). ASPECTOS BIOÉTICOS EN EL USO DE DIENTES HUMANOS. *REVISTA CIENTÍFICA “ESPECIALIDADES ODONTOLÓGICAS UG”*, 7.

10. Bibliografía

- Reis, T., Barbosa, C., Franco, M., Baptista, C., Alves, N., Castelo-Baz, P., Martin-Cruces, J., & Martin-Biedma, B. (2022). 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future-A Narrative Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(13), 7966. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137966>
- Cresswell-Boyes, A. J., Davis, G. R., Krishnamoorthy, M., Mills, D., & Barber, A. H. (2022). Composite 3D printing of biomimetic human teeth. *Scientific reports*, 12(1), 7830. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11658-y>
- Dobroś, K., Hajto-Bryk, J., & Zarzecka, J. (2022). The 3D printed teeth models intended for hands-on practice in conservative dentistry. *Folia medica Cracoviensia*, 62(1), 29–41. <https://doi.org/10.24425/fmc.2022.141689>
- Dobroś, K., Hajto-Bryk, J., & Zarzecka, J. (2023). Application of 3D-printed teeth models in teaching dentistry students: A scoping review. *European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 27(1), 126–134. <https://doi.org/10.1111/eje.12784>