



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

BIOMODELOS 3D DE CABEZA Y CUELLO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE LESIONES ELEMENTALES.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

XÓCHITL ERÉNDIRA CRUZ MÁRQUEZ

TUTORA: Mtra. ISABEL MARTÍNEZ SANABRIA

ASESOR: Mtro. RICARDO ORTÍZ SÁNCHEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

**DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS DEL PERSONAL ACADÉMICO DIRECCIÓN DE APOYO
A LA DOCENCIA PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS PARA INNOVAR Y MEJORAR LA
EDUCACIÓN**

PROYECTO PAPIME PE210522

“Comienza a hacer lo que quieras ahora.

No estamos viviendo en la eternidad.

Sólo tenemos este momento,

brillando cómo una estrella en nuestra mano

y derritiéndose cómo un copo de nieve. “

Francis Bacon.

A mis padres, **Ramiro Cruz Huerta[†] y Reyna Márquez Hernández**, gracias por todo su amor, apoyo y enseñanzas. Ustedes son mi mayor tesoro y mi fuente de energía para seguir adelante día a día. Gracias por siempre acompañarme, porque durante mi formación académica nunca me soltaron y siempre estuvieron ahí para alentarme. Gracias, porque a pesar de todo siempre confiaron en mí, en que lo lograría y hoy les puedo decir que no lo logré, lo logramos, porque sin su apoyo y sacrificio esto no sería posible. No hay palabras suficientes para agradecer todo lo que han hecho por mí. Los amo.

A mi familia, gracias a todos los que directa o indirectamente participaron en este sueño. A ti, mi hermana del alma, **Reina Márquez**, gracias por ser mi cómplice y nunca dejarme caer; a mis niños **Ángel y Daniel**, por ser mi motivo para siempre ser mejor y; **Melanie**, la recién llegada, gracias por llenar mi vida de alegría en los momentos más difíciles y enseñarme que a pesar de todo siempre hay que sonreír.

A todos y cada uno de mis compañeros de carrera con los que tuve el placer de convivir, a pesar de ya no verlos, les agradezco que hayan formado parte de este camino. A **Enrique, Daniela, Basy y Gil**, gracias por su amistad, comenzamos siendo compañeros y, se convirtieron en mis grandes amigos. Gracias por todo su cariño, apoyo y por los maravillosos momentos que vivimos en la facultad y, aún más por los que seguimos viviendo fuera.

A mis amigas, **Ana, Katia, Claudia y Dulce**, gracias porque siempre estuvieron ahí, para ayudarme y darme palabras de aliento cuando más las necesitaba.

A mi compañero de aventuras, **Fabián Estrada Domínguez**, llegaste a mi vida de la forma más inesperada y agradezco que así haya sido. Gracias por apoyarme en todas mis locuras, por escucharme cuando más lo necesito y sobre todo por confiar en mí. Te odio.

A mi tutora la **Mtra. Isabel Martínez Sanabria**, gracias por su paciencia y apoyo durante el desarrollo de la tesina, por darme la oportunidad de experimentar y aprender cosas nuevas y, sobre todo por recordarme que de eso se trata la vida, de aprender lo más que podamos.

Al **Dr. Juan Ignacio Cruz Ramírez**, por su dedicación, paciencia, disponibilidad y guía. Sin sus asesorías, recomendaciones y observaciones no hubiera sido posible realizar este trabajo. Agradezco la oportunidad que me brindó para conocer su trabajo, por colaborar y permitirme usar sus imágenes y las de *Smart Anatomy*® para el desarrollo de la tesina. Gracias infinitas.

A la **Esp. Lila Areli Domínguez Sandoval**, Coordinadora del Seminario de Titulación de Patología General e Inmunología, gracias por siempre estar al pendiente de nosotros en cada trámite de este proceso y, sobre todo gracias por su tiempo, dedicación y observaciones para mejorar este trabajo.

A mi alma mater, la **Universidad Nacional Autónoma de México**, gracias por haberme concedido el honor de realizarme profesionalmente. Me llena de orgullo y felicidad haber sido estudiante de la máxima casa de estudios de México.

Por último, a la **Facultad de Odontología**, gracias por darme las herramientas y conocimientos necesarios para formarme académicamente como Cirujana Dentista. A tus profesores, porque no sólo me brindaron su conocimiento, sino también me ayudaron a crecer como persona. Siempre te llevaré en el corazón, gracias por los mejores años de mi vida.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Dedicatoria.

Este trabajo lo quiero dedicar a la memoria de mi padre, **Ramiro Cruz Huerta**[†]. Te fuiste antes de concluir, pero ¡lo logramos! Tu esfuerzo y el de mi mamá, por fin se materializó, concluí con la carrera como siempre lo soñaste. Perdón por no haber puesto mis prioridades en orden y no haberte dado el gusto en vida.

Estoy segura, que, durante el desarrollo de este trabajo, tu espíritu estuvo junto a mí, apoyándome y dándome aliento para concluir como lo hubieras hecho tú en vida. Aún después de tu partida sigues cuidando de mí, sigues siendo mi ángel.

Gracias por haber sido el gran padre que fuiste, gracias a tus enseñanzas y valores soy la persona que soy, y más que eso, gracias por haber sido mi amigo, mi confidente y mi cómplice.

Desde tu partida, no hay un solo día que no te recuerde y, mientras nos volvemos a reunir, ten por seguro que lo seguiré haciendo. Te extraño tanto, siempre te llevaré conmigo en mi corazón y mi mente.

Un beso y todo mi amor hasta el cielo.

Índice

Introducción.....	9
Planteamiento del problema.....	11
Pregunta de investigación.....	12
Hipótesis.....	12
Justificación.....	13
Objetivo general.....	14
Objetivos particulares.....	14
Capítulo I. Antecedentes.....	15
Primeros años de la impresión 3D.....	16
La estereolitografía.....	16
La era de la innovación: <i>el SLS, el FDM y el Binder Jetting</i>	17
<i>RepRap y Open source</i>	19
Primeras aplicaciones reales de la impresión 3D.....	20
Capítulo II. Impresión y biomodelos 3D.....	24
Impresión 3D.....	24
➤ Definición.....	24
➤ Impresora 3D.....	24
➤ Sistemas de impresión.....	24
➤ Materiales de impresión.....	31
➤ Tipos de impresora.....	32
Biomodelo 3D.....	34
➤ Definición.....	34
➤ Obtención de modelos 3D.....	35
➤ Obtención de biomodelos 3D.....	38

Aplicaciones de la impresión y los biomodelos 3D.....	41
Ventajas y desventajas de la impresión y los biomodelos 3D.....	42
Capítulo III. Respuesta celular.	44
Adaptaciones celulares.	44
➤ Definición.	44
➤ Clasificación.....	44
a) Hipertrofia.	44
b) Hiperplasia.....	45
c) Atrofia.	46
d) Metaplasia.....	46
Lesión celular.....	47
➤ Definición.	47
➤ Tipos de lesión.....	47
Muerte celular.	48
➤ Definición.	48
➤ Tipos de muerte celular.	48
Causas de lesión y muerte celular.	49
Alteraciones morfológicas en la lesión y muerte celular.....	50
➤ Lesión celular reversible.	50
➤ Lesión celular irreversible.	51
➤ Muerte celular.	51
a) Necrosis.....	51
b) Apoptosis.	53
c) Autofagia.....	54
Capítulo IV. Lesiones elementales en Patología.....	56

Definición.....	56
Clasificación.....	56
➤ Lesiones primarias.....	57
1. Con cambio de color.....	57
2. Aumento de volumen.....	59
3. De contenido líquido.....	62
➤ Lesiones secundarias.....	64
1. Con pérdida de la continuidad superficial.....	64
2. Como consecuencia de procesos previos.....	66
Descripción de las lesiones elementales.....	69
Capítulo V. Impresión y biomodelos 3D como método de enseñanza.....	72
Conclusiones.....	74
Referencias bibliográficas.....	76

Introducción.

Las/los profesionales de la salud, tienen la responsabilidad de brindar un diagnóstico y tratamiento oportuno a cada uno/a de sus pacientes. Para esto es de suma importancia que desde su formación académica sean capaces de identificar y describir adecuadamente las lesiones elementales que pueden presentarse en cavidad oral, ya que estas representan las primeras manifestaciones de enfermedades orales y/o sistémicas que pueden comprometer el estado de salud de los pacientes.¹

Las lesiones elementales de mayor interés para el odontólogo pueden presentarse tanto en cavidad oral como en las estructuras de cabeza y cuello. Los factores etiológicos y características clínicas diferentes dependen del sitio anatómico. El diagnóstico dependerá de la historia clínica y el conocimiento de las características de cada una de ellas.²

Dichas lesiones, además de ser de gran interés médico para determinar su etiología, pueden interferir con las actividades diarias del paciente ya que tienen un impacto directo en la estética y las principales funciones del sistema estomatognático (masticación, deglución, habla, etc.).³

La detección de lesiones elementales permite un diagnóstico oportuno y correcto, en este sentido radica la importancia de la formación educativa a profesionales de salud mediante la implementación de estrategias de enseñanza que apoye a los/las estudiantes a incrementar las habilidades y capacidades de reconocimiento de las lesiones elementales.⁴

Las nuevas estrategias de aprendizaje deben fusionar el conocimiento aprendido o disciplinar, el conocimiento pedagógico y el conocimiento tecnológico tanto de las/los docentes como del estudiantado. De esta manera, se busca que el conocimiento no sólo sea más eficiente sino más participativo, facilitando el aprendizaje y la retención del conocimiento a través de métodos interactivos. Actualmente se pueden encontrar diversas herramientas que faciliten la formación académica y logren satisfacer las necesidades de cualquier área del conocimiento.⁵

La aparición de tecnologías digitales permite el diseño de recursos didácticos innovadores que complementen el conocimiento adquirido en libros. Una herramienta, que ha adquirido gran relevancia en los últimos años, es la tecnología 3D, específicamente la impresión y modelado 3D.⁶

En el sector educativo, concretamente en la educación médica, se ha implementado el uso de biomodelos anatómicos 3D físicos que permiten al estudiantado y los/las profesionales de la salud visualizar y analizar tridimensionalmente las estructuras anatómicas a detalle. La disponibilidad de un biomodelo 3D tangible como método didáctico incrementa la capacidad de retención y mejora el nivel de comprensión del estudiante en temas concretos. Además, incrementa el interés y la participación del estudiante, pues los biomodelos 3D, para su creación requieren de un archivo digital, el cual puede ser manipulado y descompuesto para un mayor análisis, a través de aplicaciones de fácil acceso que pueden ser descargadas en smartphones, tabletas y computadoras para su consulta en cualquier momento.⁶

Planteamiento del problema.

La educación, requiere constante renovación en cuanto a sus métodos de aprendizaje y enseñanza. Hoy en día, se puede observar que, en los planes de estudio, si bien se incluyen métodos y recursos audiovisuales, no se especifica en qué medida y con qué frecuencia deben de utilizarse.

Específicamente, para la enseñanza de la identificación de lesiones elementales son de suma importancia los recursos visuales, hasta ahora la forma tradicional de ver imágenes en libros, artículos o fotografías ha sido una estrategia de aprendizaje óptima podría mejorarse apoyándonos de la tecnología.

En específico la tecnología 3D ha revolucionado diversos sectores de la sociedad, y actualmente en el área de la salud se ha buscado que los biomodelos 3D contengan propiedades visuales como físicas similares a los tejidos y órganos del cuerpo para poderlos utilizar con propósitos científicos, quirúrgicos, en implantes y, más recientemente como recurso educativo.

Para este propósito surge la necesidad de investigar las posibilidades que los biomodelos 3D ofrecen para ser utilizados como estrategias de enseñanza, promoviendo el desarrollo de habilidades de los/las estudiantes para formar personal de salud mejor capacitado en el área clínica diagnóstica.

Pregunta de investigación.

¿Los biomodelos 3D de cabeza y cuello son recursos que pueden emplearse como parte de las estrategias de enseñanza - aprendizaje para la identificación de lesiones elementales?

Hipótesis.

Los biomodelos 3D de cabeza y cuello pueden ser utilizados como estrategia de enseñanza-aprendizaje que promuevan la identificación de lesiones elementales en cabeza y cuello, así como en la cavidad oral.

Justificación.

Con el paso del tiempo, la educación y la tecnología se han ido renovando, hoy en día es más común la utilización de estrategias de enseñanza apoyadas con tecnología, para innovar los procesos de estudio, así como las estrategias de enseñanza. La enseñanza tradicional basada en clases magistrales para la explicación de diversos temas con un método unidireccional y de carácter receptivo ha quedado obsoleta para las generaciones de estudiantes que en la actualidad se identifican más con estrategias apoyadas en tecnologías, las aptitudes visuales y las habilidades que son desarrolladas a partir de recursos educativos que simulan la realidad han logrado ser un innovador método de enseñanza en diversas instituciones de Educación Superior. En general, el aprendizaje que se espera obtenga el estudiantado que cursa el Módulo de Introducción al Diagnóstico en el eje temático de lesiones elementales dentro del plan de estudio de la Licenciatura de Odontología se ha basado en la clase magistral, con un orden predeterminado y material visual convencional. Aunque los resultados son buenos, en la época actual es necesario el fortalecimiento del conocimiento teórico con la aplicación de herramientas digitales, apoyadas con tecnologías educativas que sirvan como herramientas didácticas e interactivas que potencialicen el aprendizaje de los contenidos temáticos del módulo, con la finalidad de que los/las estudiantes tengan un total conocimiento del tema, facilitando el aprendizaje de las lesiones elementales, desarrollando las habilidades clínicas características que permita la obtención de competencias diagnósticas de identificación de las alteraciones más frecuentes en cavidad oral durante la inspección y exploración física del paciente.

Objetivo general.

Realizar una revisión de los biomodelos 3D, digitales e impresos, analizar y concluir con base en la información recabada si la impresión y los biomodelos 3D pueden ser utilizados como estrategia de aprendizaje para la identificación de lesiones elementales en la Licenciatura de Odontología.

Objetivos particulares.

1. Conocer las técnicas de diseño e impresión de los biomodelos 3D tanto físicos como digitales.
2. Indagar sobre la utilidad de los biomodelos 3D digitales e impresos en la enseñanza de las lesiones elementales en Odontología.
3. Definir y clasificar las lesiones elementales, así como la respuesta celular ante la lesión.

Capítulo I. Antecedentes.

El uso de biomodelos o modelos 3D como método de enseñanza se remonta a la época del Renacimiento, donde se utilizaban modelos tridimensionales de látex para la simulación de enfermedades o deformidades del cuerpo humano. Desde esa época se comenzó la implementación de modelos para el entrenamiento de estudiantes y profesionales de la salud; sin embargo, su laboriosa construcción causó que poco a poco esta práctica se abandonará por completo.⁷

Las únicas representaciones tridimensionales que continuaron utilizándose fueron las colecciones de cráneos humanos reunidos con el propósito de ilustrar y estudiar anomalías anatómicas específicas. Sin embargo, la posibilidad de generar construcciones tridimensionales con imágenes tomográficas fue mencionada por primera vez en 1980, y en 1987, se realizó por primera vez la construcción de un modelo craneofacial de espuma en 3D usando esta metodología.⁷ Desde entonces se han buscado nuevas técnicas con el objetivo de aumentar la calidad y definición de los modelos. La técnica más innovadora, encontrada hasta el momento es la impresión 3D. Aunque la impresión 3D pudiera parecer una tecnología de reciente creación, la realidad es que lleva décadas siendo aplicada en diversos campos de estudio.⁷ La primera mención de un aparato similar a la impresora 3D la realizó Arthur C. Clarke, escritor de ciencia ficción, cuando describió al “Replicador”, aparato capaz de hacer una copia exacta de cualquier cosa. En el año de 1966, la serie de ciencia ficción “*Star Trek*” contextualiza al replicador en la cultura popular (Figura 1).⁸



Fig. 1 Conceptualización del “Replicador” de Arthur C. Clarke en la serie *Star Trek*.⁸

Primeros años de la impresión 3D.

En 1981, el doctor japonés Hideo Kodama realiza la primera solicitud para la patente de un dispositivo de prototipado rápido de fotopolímeros, sistema que se basa en el curado de un material fotopolimerizable por luz UV (Figura 2).⁹

Figura 2. Dr. Hideo Kodama, primer pionero en la invención de máquinas de prototipado rápido. Su proyecto no continuó debido a problemas de financiamiento.⁹



Años después, en 1983, Alan Le Méhauté, Oliver de Witte y Jean-Claude André presentan la primera patente para el proceso de estereolitografía, sin embargo, este proyecto fue abandonado por el Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (CNRS) y CILAS, compañía especializada en láseres y tecnología óptica debido a que, para ellos, no había una perspectiva empresarial clara.⁹

La estereolitografía.

En 1986, Charles W. “Chuck” Hall, obtiene la patente de la estereolitografía. Este proyecto lo definió como: “un método y dispositivo para la fabricación de objetos sólidos mediante la sucesiva impresión de capas delgadas de un material curable por luz UV”. En ese mismo año, en Valencia, California funda *3D Systems*, y para el año de 1987, se comercializa la primera impresora 3D de estereolitografía, la SLA-1.⁹

Además de ser reconocido como el inventor de la estereolitografía, Charles Hall, también es reconocido como el co creador del formato de archivo STL, formato de archivo de impresión más común hasta la fecha (Figura 3).¹⁰



Figura 3. Charles Hall, reconocido como el inventor de la estereolitografía y el formato STL. Su proyecto marcaría el inicio de la creación de otras tecnologías para la impresión 3D.¹⁰

La era de la innovación: el SLS, el FDM y el Binder Jetting.

En 1988, después del lanzamiento de la SLA-1, Carl Deckard y Joe Beaman profesores de la Universidad de Texas inventaron el sinterizado láser selectivo (SLS). Este método permite imprimir objetos sin aglutinante o etapa de ensamblaje. Antes de imprimir, la concepción del objeto es realizada en un software CAD para ser enviada a la impresora y esta, se realiza capa por capa a partir de polvos fusionados por la temperatura generada del láser de CO₂.¹¹

Deckard y Beaman crearon la *DTM (Desk Top Manufacturing)*, compañía establecida y diseñada para la construcción de máquinas SLS. En 2001 DTM fue adquirida por *3D Systems*.¹²

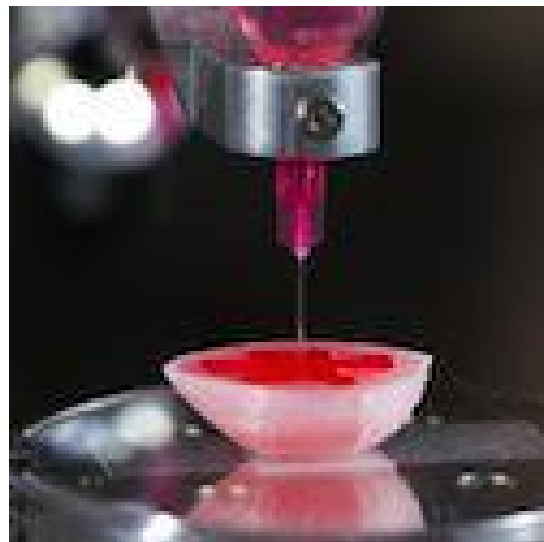
Paralelamente, en 1988 Scott Crump crea el modelado por deposición fundida (*FDM*). Su funcionamiento se basa en tres elementos principales: una placa de impresión, una bobina de filamento para el material de impresión y un cabezal de extrusión. Cuando el sistema de impresión se automatizó, el mecanismo se basó en un sistema robótico cartesiano que marca donde se deposita el material de impresión fundido capa por capa sobre la placa de impresión previamente diseñada con la figura a imprimir.¹³

En 1989, Scott y Lisa Crump, patentaron la tecnología *FDM* y fundaron la compañía *Stratasys*. Finalmente, en 1992, *Stratasys* vendió su primer producto, el Modelador 3D.¹⁴

En la década de los 90's, comienza el desarrollo paralelo de diversos proyectos de impresión 3D, destacando en 1993 el proyecto de Jim Bredt y Tim Anderson, el *Binder Jetting*, proceso de impresión 3D que se basa en la modificación realizada a una impresora de inyección de tinta que deposita selectivamente un material con aglutinante líquido sobre un lecho de polvo.¹⁵

En 1995, Bredt y Anderson forman la compañía conocida como *Z Corporation (Z Corp)*, bajo este nombre adquieren la patente del *Binder Jetting* del MIT y logran trabajar la impresión 3D con diversos materiales como yesos, cerámicas, arenas, metales y polímeros en gránulos. Es la primera tecnología en crear modelos a color, debido a que el tinte se inyecta directamente en el aglutinante.¹⁶ En 2012, *Z Corp* fue adquirida por *3D Systems*.¹⁷

Fue hasta el año de 1999 cuando se registró por primera vez la aplicación de la tecnología de impresión 3D en el área de la medicina para crear un recubrimiento sintético de vejiga a partir de las células del mismo paciente. Esta investigación fue realizada por el Instituto de *Wake Forest* de Medicina Regenerativa.¹⁸ En el 2002, el mismo instituto logró imprimir un riñón miniatura en un animal (Figura 4).¹⁹



*Figura 4. Científicos del Instituto Wake Forest diseñan un riñón miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal.*¹⁹

RepRap y Open source.

En el 2005, en Inglaterra, surge el proyecto *RepRap (Replicating Rapid Prototyper)*, máquina capaz de autorreplicarse como iniciativa de Adrian Bowyer. En 2008, la primera impresora *RepRap* llamada “*Darwin*” logró con éxito imprimir más de la mitad del total de sus piezas, y además se logra la impresión de un objeto para uso final. El software de la *RepRap* es de libre acceso, lo que permite que cientos de desarrolladores puedan mejorar los dispositivos y sean más accesibles; la mayoría de las impresoras *FDM* se basan en este proyecto.²⁰

Posterior al proyecto *RepRap*, surge la empresa de impresión 3D *Shapeways*, fundada por Peter Weijmarshausen. Esta empresa trabaja como una comunidad abierta donde cualquiera puede enviar sus modelos, escoger el material de impresión para que una impresora 3D reciba la orden y se encargue de realizar el producto; una vez terminada la figura se empaqueta y envía al destinatario. El auge de *Shapeways* fue en el 2008 cuando lanzó un sitio web donde comenzó a comercializar sus productos (Figura 5).²¹



Figura 5. Shapeways, también conocido como el Amazon de la impresión 3D porque puso al alcance de los consumidores la posibilidad de imprimir cualquier objeto de manera rápida, personalizada, a bajo costo y sin intermediarios.²¹

En el 2008, se tiene el primer registro de la impresión 3D de una pierna funcional con todos sus componentes (pierna, rodilla, tobillo, pie, etc.) y sin la necesidad de realizar un montaje extra para su estructura.¹⁹

Después de la creación de la *RepRap* y la entrada del *Open Source* se da el auge de la impresión 3D, esto impulsa la creación de nuevas impresoras como es el caso de la impresora *MakerBot Cupcake* creada en el año 2009 por Bre Pettis, Zachary

Smith y Adam Mayer. Juntos fundan *MakerBot Industries*, primera compañía en fabricar y distribuir impresoras 3D personales (Figura 6). El principio de la *MakerBot* no se autorreplicarse, sino facilitar su ensamblaje a través de paquetes de código abierto “do it yourself” (*DIY Kits*) para que cualquier persona con mínimos conocimientos técnicos pueda realizar el ensamblaje de la impresora 3D. Al mismo tiempo se creó una de las mayores comunidades de intercambio de ideas y diseños para impresoras 3D, “*Thingiverse*”.²²

Figura 6. El equipo fundador de *MakerBot Industries* (Adam Mayer, Zachary Smith y Bre Pettis) junto al primer modelo, la *MakerBot Cupecake*.²²



En 2013, la empresa *MakerBot* fue adquirida por *Stratasys*, alejándose del movimiento *Open Source* para posteriormente incursionar en la impresión profesional y educativa con su gama de modelos *SKETCH Classroom* dirigidos a maestros y estudiantes con el propósito de brindar accesibilidad a la impresión 3D y a la creación de herramientas y recursos adecuados para mejorar la enseñanza; además lanza la impresora de escritorio *Method* dedicada a la creación de piezas y herramientas de uso industrial.²³

Primeras aplicaciones reales de la impresión 3D.

Las primeras aplicaciones complejas que realizaron las impresoras 3D, fueron las impresiones de tejidos a partir de células para lograr tejidos y órganos humanos. Una de las primeras empresas especializadas en este sector fue *Organovo*, creada en el 2007 por el físico biólogo Gabor Forgács en California, Estados Unidos. En 2009 comenzaron el desarrollo de *NovoGen MMX Bioprinter*, la primera impresora 3D que logró imprimir vasos sanguíneos, arterias personalizadas con las células de

un individuo. Para 2014, comenzó con la impresión de hígados 3D y su comercialización para usarlos en pruebas farmacológicas.^{24,25}

En el 2011, los ingenieros ingleses Andy Keane y Jim Scanlan de la Universidad de Southampton del Reino Unido diseñaron e imprimieron el primer avión no tripulado por medio de una máquina de sinterizado láser de nylon al que llamaron *SULSA* (Figura 7). Fue el primer avión impreso en 3D que realizó su primer vuelo con éxito.²⁶



Figura 7. El primer avión impreso en 3D realizó su primer vuelo con éxito en Witshire Downs, al norte de Stonehenge. Los ingenieros Ady Keane y Jim Scanlan pronosticaron que esta tecnología ahorraría tiempo y dinero en la creación de vehículos aéreos no tripulados (UVA).²⁶

En ese mismo año, Jim Kor fundador de *Kor Ecologic* presenta *Urbee*, primer automóvil híbrido impreso en 3D diseñado para ahorrar combustible y ser de fácil reparación a bajo costo (Figura 8). Sin embargo, hasta el año 2014, *Kor Ecologic* sólo ha sacado dos modelos de automóviles híbridos *Urbee* que no han sido producidos para el consumo masivo.²⁷

Figura 8. Conoce a Urbee, el auto que nació de una impresora 3D. Toda su carrocería fue creada usando una impresora con material ABS, debajo de su caparazón, el chasis está hecho de acero inoxidable.²⁷



A pesar de que la impresión 3D en metal fue un proyecto que comenzó en 1995 por la empresa *ExOne*, fue hasta el año 2011 que la empresa belga *Materialise NV* logró la impresión de las primeras joyas en 3D hechas de oro de 14K y plata de ley.¹⁹ Después de este acontecimiento, diversas empresas comenzaron a innovar y crear procesos de impresión 3D en metales que pudieran tener aplicaciones en diversos sectores como el automotriz, metalúrgico, médico, etc.

El primer implante de mandíbula, impresa en 3D, fue realizado en el año 2012 por un grupo de médicos belgas de la Universidad de Hasselt en una paciente de 83 años. La mandíbula fue fabricada por la compañía neerlandesa *Xilloc Medical BV* de *Maastricht* y elaborada a partir de polvo de titanio, hueso artificial y recubierta con plasma (Figura 9). La principal ventaja que ofreció este procedimiento fue la rapidez de la intervención y recuperación, porque a diferencia de la extracción y reconstrucción convencionales, la operación tuvo una duración de 4 horas y la paciente pudo volver a casa después de 4 días.^{28,29}

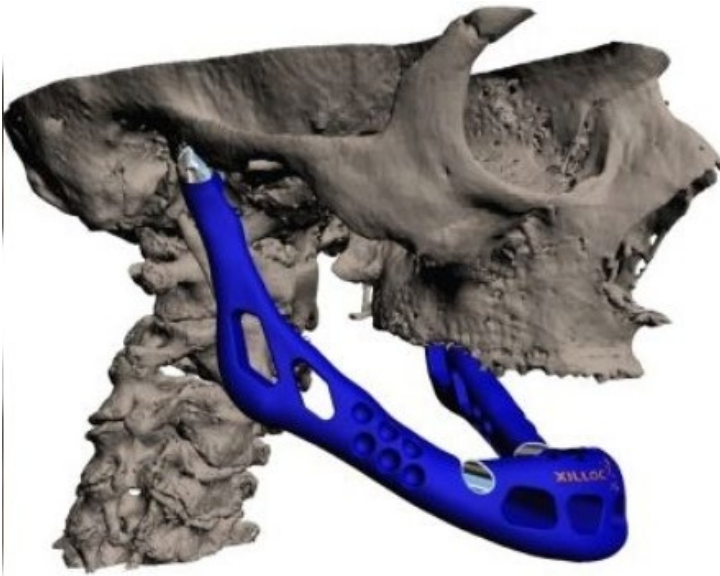


Figura 9. Los expertos del Instituto de Investigación BIOMED de la Universidad de Hasselt afirmaron que se trata de la primera intervención que sustituye una parte del cuerpo humano con un biomodelo 3D.²⁸

En ese mismo año, investigadores de la Universidad de Filadelfia en colaboración con *Stratasys* imprimieron el primer exoesqueleto robótico llamado *WREX* (*Wilmington Robotic Exoskeleton*) para ayudar a niños con diversas patologías del sistema muscular. La primera niña en utilizar a *WREX* fue Emma, una niña de 4 años con artrogriposis múltiple congénita (AMC) (Figura 10). La ventaja del diseño de *WREX*, es que al ser fabricado con una impresora 3D se pueden cambiar con facilidad sus piezas para adaptarlas según el crecimiento de su portador.³⁰

Figura 10. El oxoesqueleto WREX o "REXY" como lo llamó Emma, le permitió volver a mover los brazos para colorear, comer, jugar y volver a abrazar a su mamá.³¹



En el 2013, el Hospital Gregorio Marañón de Madrid, fue el primero en introducir la impresión 3D como herramienta para la planificación preoperatoria y la ejecución quirúrgica en el Servicio de Traumatología. Además, se crea la primer Comisión de impresión 3D hospitalaria cuyo principal objetivo es la implementación de esta herramienta en otros departamentos del hospital, así como la certificación *ISO* del proceso de impresión 3D en el entorno hospitalario para la implementación de nuevas soluciones en el área de los implantes biocompatibles, la bioimpresión de tejidos y productos bioactivos.³²

Capítulo II. Impresión y biomodelos 3D.

Impresión 3D.

➤ **Definición.**

Es el proceso que permite la creación de objetos tridimensionales tangibles a partir de un modelo digital 3D utilizando procesos aditivos de material que se superponen capa por capa para la fabricación del objeto.^{33,34} Usualmente, se usa como sinónimo de impresión 3D el término de fabricación aditiva, ya que ambas son técnicas de fabricación capa por capa; sin embargo, la fabricación aditiva es un término que se asocia principalmente a la industria.³³

➤ **Impresora 3D.**

La impresora 3D es un dispositivo o máquina, que, por medio de la adición de diversos materiales, es capaz de construir objetos sólidos tridimensionales a partir de un modelo o imagen 3D en formato STL. Puede tener tamaños y aspectos variados, pero siempre deben estar vinculadas a un ordenador con programas informáticos y de diseño asistido que son fundamentales para iniciar y controlar el proceso de impresión.^{33,35,36} Las impresoras 3D son máquinas diseñadas para colocar secuencialmente el material deseado (líquido, sólido, polvo e incluso células vivas) en el espacio de impresión siguiendo coordenadas milimétricas conforme a los ejes X, Y y Z, según los comandos de la computadora.³⁷

➤ **Sistemas de impresión.**

Los diferentes sistemas de impresión se pueden establecer de acuerdo con la forma de trabajar los materiales de impresión, al tipo de material, y por último, conforme el mecanismo de impresión.³⁸

La clasificación por forma de trabajar los materiales impresión es: 1) sistemas de inyección, que utilizan materiales termofusibles que pueden fundir y solidificar el material para formar las distintas capas del modelo; 2) sistemas de compactación, que utilizan materiales en polvo o resinas que crean capas sólidas al fotopolimerizarlos con la ayuda de un láser o lámpara de rayos UV.³⁹

Respecto al material que utilizan, las técnicas de impresión se pueden clasificar por el estado del material de impresión en sólido, líquido o polvo. Actualmente, se encuentran diferentes tecnologías que varían de acuerdo con el estado del material y al mecanismo de trabajarlo; sin embargo, todos los sistemas de impresión se basan principalmente en los mecanismos para realizar la impresión. La clasificación de estos mecanismos es:

1. Estereolitografía. Consiste en la polimerización de un fotopolímero líquido, generalmente, resina líquida que se solidifica a través de la proyección de un láser UV. Las piezas se van conformando capa por capa conforme el rayo láser recorre la superficie para solidificar el material. La plataforma de impresión se sumergirá en el líquido de impresión según el espesor de la capa ya solidificada, este proceso se repetirá tantas veces como sea necesario hasta obtener la pieza final (Figura 11). En este método se requieren de estructuras independientes para el sostén de la pieza que se va a imprimir; finalmente la pieza es sometida a un post curado, en un horno especial de rayos UV donde se separan las piezas de las estructuras de sostén y se aplican los acabados.³⁹

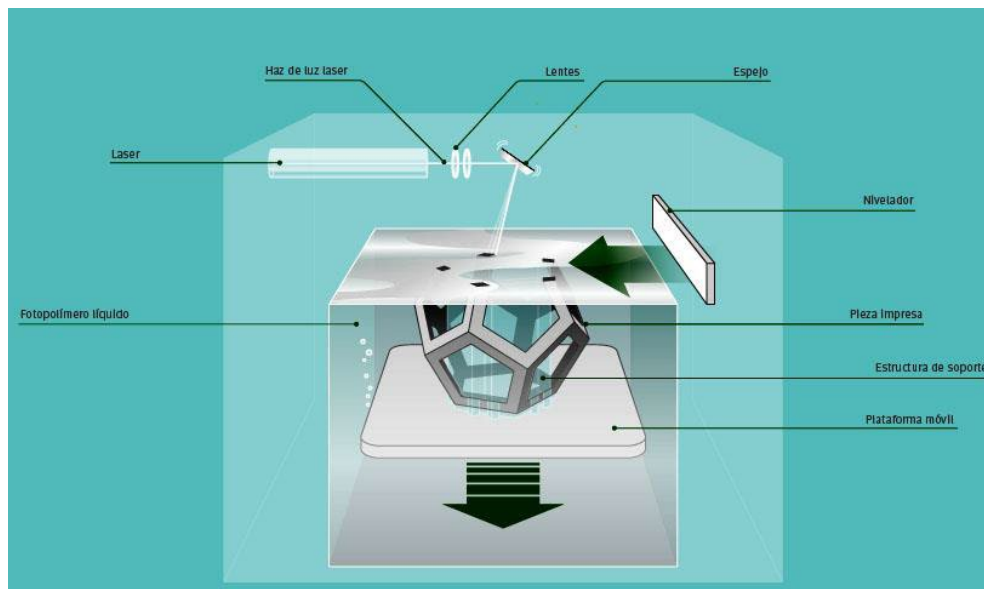


Figura 11. En la técnica de Estereolitografía, la plataforma de impresión se sumerge dentro del contenedor donde se encuentra el polímero en estado líquido, mientras que el haz de luz UV atraviesa el material solidificando por capas hasta formar el objeto deseado.⁴⁰

2. Procesamiento digital de luz (DLP). Proceso de impresión que tiene mucho en común con la estereolitografía, ya que ambos procesos utilizan la fotopolimerización como la base de la fabricación de objetos. La luz proviene de un chip que dirige el haz de luz sobre la superficie donde se proyecta una imagen bidimensional en una tina con resina fotopolimerizable (Figura 12).³⁸ A diferencia de la estereolitografía este método no implica ningún desplazamiento de la luz sino únicamente el descenso progresivo de la plataforma sobre el haz de luz para la solidificación del material.³³

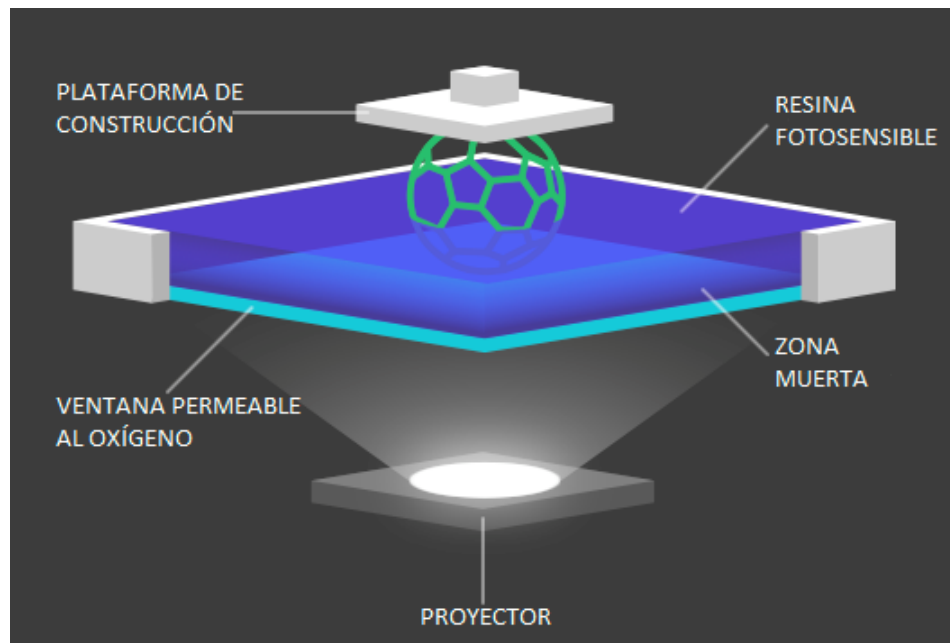


Figura 12. El tipo de tecnología que se utiliza en el proceso DPL también se utiliza en la proyección de películas y en los teléfonos móviles.⁴¹

3. *PolyJet*. Es un proceso de impresión 3D similar a la impresión por inyección de tinta, la diferencia es que, en lugar de pulverizar tinta en un papel, se genera una serie de capas mediante la inyección de un fotopolímero líquido que se cura con luz UV para su solidificación capa por capa, y así conformar el objeto. Cuando el modelo diseñado es complejo, la impresora 3D puede adicionar un gel hidrosoluble que actúa como estructura de soporte durante la fabricación de la pieza.⁴²

4. Sinterización selectiva por láser. Mecanismo de impresión que utiliza un compuesto en polvo de diversas clases, generalmente, microesferas de poliamida. El proceso para generar el modelo es similar a la estereolitografía, haciéndolo capa por capa, sin embargo, el proceso inicia desde la parte inferior.³⁹ Su funcionamiento comienza cuando la bandeja de polvo se precalienta dentro de la máquina a una temperatura por debajo del punto de fusión. Un rodillo extiende una capa fina de polvo sobre la plataforma de impresión para que después el láser pase por encima del polvo siguiendo el trazado determinado por el ordenador y funde las partículas hasta fusionarlas entre sí (Figura 13). Cuando el material es polvo de metal, se realiza el mismo procedimiento, pero el proceso se conoce como Sinterizado directo de metal por láser (DMLS).³³

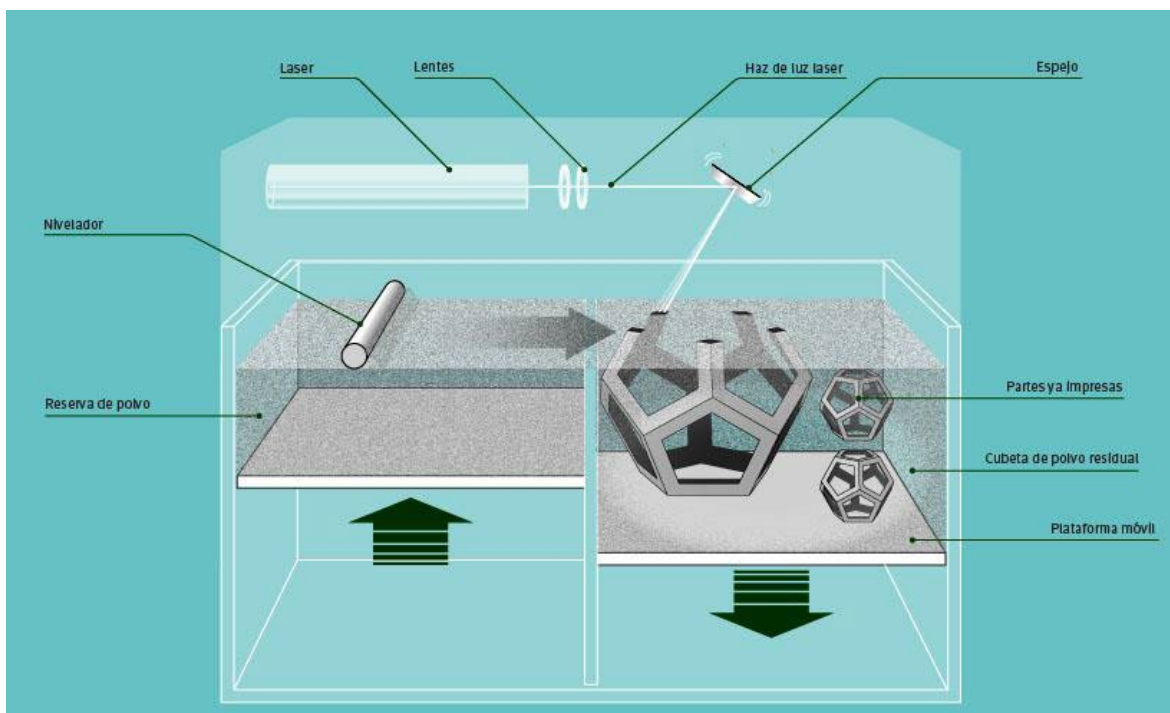


Figura 13. El proceso de sinterizado selectivo por láser comienza con el esparcimiento del material en polvo con la ayuda del rodillo sobre la plataforma de impresión para que el láser funda y fusione las partículas entre sí, guiado y controlado por un archivo CAD. En este tipo de proceso es posible la creación de piezas con varios componentes, incluso uno dentro de otro, en un solo acto de producción.⁴⁰

5. *Binder Jetting*. El proceso de impresión comienza cuando un rodillo va colocando una fina capa de material en polvo para que después el cabezal de impresión deposite pequeñas gotas de material aglutinante sobre la capa de polvo para comenzar a unificar la pieza. El proceso se realiza capa por capa hasta que la pieza queda completamente formada. Con esta tecnología es posible la creación de modelos a color ya que el colorante se agrega en la misma fase que el material aglutinante (Figura 14).¹⁶ No se requieren estructuras adicionales para la conformación de la pieza y se pueden producir piezas que tengan otras piezas en su interior, así como formas en voladizo y entretejidas.⁴⁰

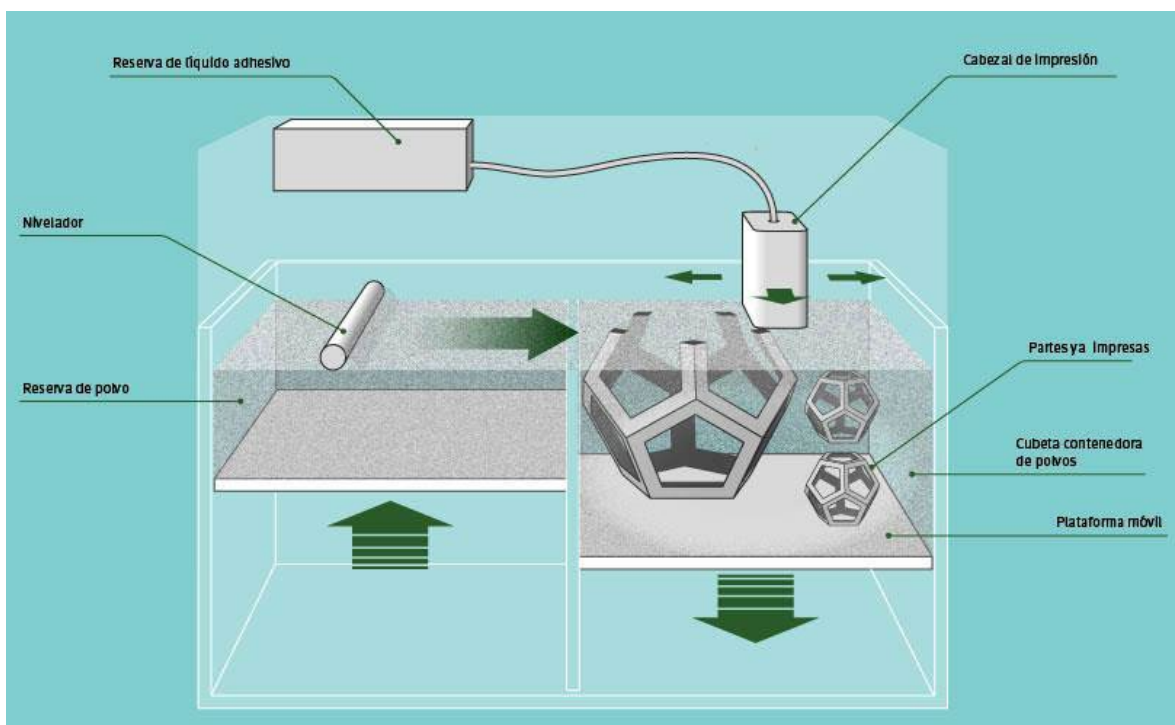


Figura 14. El proceso de impresión consiste en la pulverización de un aglutinante líquido sobre un lecho de polvo que se solidifica poco a poco. los materiales que se solidifican gracias al aglutinante son: yeso, arena, cerámicas, metales y polímeros en gránulos.⁴⁰

6. Modelado por deposición fundida (FDM). Es una técnica que consiste en depositar sucesivamente un filamento de material plástico o metálico a través de una boquilla de extrusión que sigue el trazado definido por el archivo CAD desde la base hasta la cima (Figura 15). Para las estructuras provisionales de soporte, generalmente, se utiliza un material hidrosoluble.³³

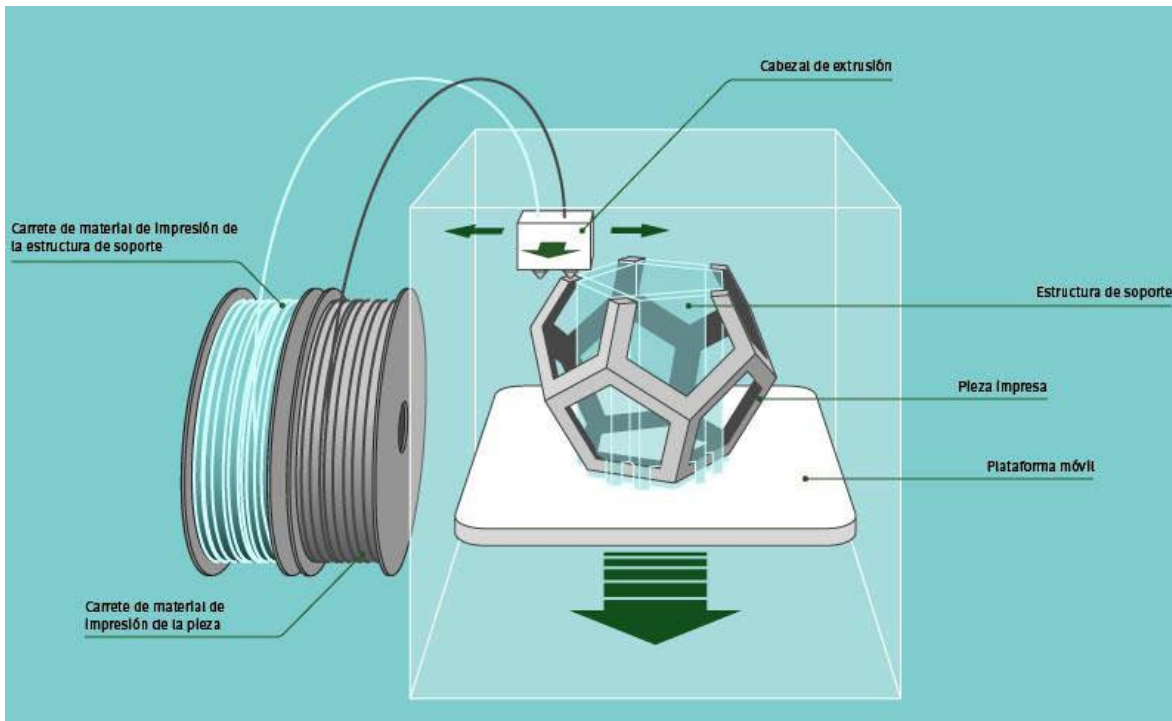


Figura 15. El proceso consiste en la eyección y fusión de filamentos de material (generalmente almacenado en rollos) que se funden en el propio cabezal sobre una plataforma de impresión donde se van enfriando y solidificando capa por capa. Se puede utilizar un segundo cabezal para la eyección de un segundo material que puede servir como estructura de soporte (terminando la pieza debe removerse) o como material de refuerzo que se combinará con el principal para formar la pieza.⁴⁰

7. Fabricación por corte laminado (LOM). Proceso de impresión que consiste en posicionar, unir o pegar láminas de material (papel, cerámica, composites, etc.). Para comenzar el proceso se coloca una lámina del material sobre la plataforma para posteriormente posicionar la siguiente capa de material que contendrá en su parte inferior una sustancia adhesiva que mediante la presión y el calor de un rodillo hará que se pegue a la lámina anterior (Figura 16). Cuando las láminas se encuentran pegadas son recortadas siguiendo el

contorno del programa de impresión, al finalizar la colocación del material por capas, el bloque se separa de la plataforma para obtener el modelo final.³⁹

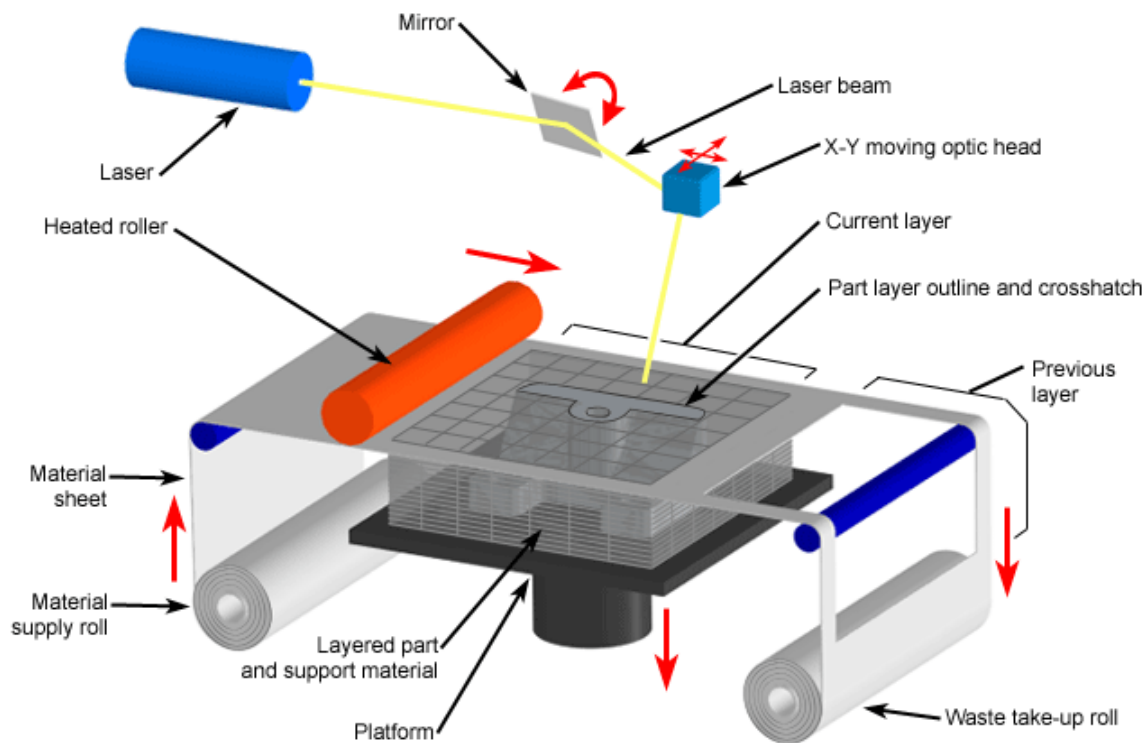


Figura 16. Cuando el proceso inicia y las capas se unen, el láser recorre la plataforma y realiza el corte de las capas unidas para conformar la pieza deseada. Este corte se realiza capa por capa, por lo que la intensidad del láser deberá ser controlada para no dañar las láminas previamente cortadas. La resistencia de las láminas está complementada con las propiedades del adhesivo entre cada lámina.⁴³

8. Fusión por rayo de electrones (EBM). Técnica de impresión que se lleva a cabo a partir de una fina capa de polvo metálico que se va fundiendo por un haz de electrones dentro de una cámara de vacío a una temperatura entre 700 y 1000 °C.³³ Durante el proceso de impresión, la plataforma va descendiendo para permitir esparcir la próxima capa de polvo y continuar con el fundido, de esta manera el modelo emerge capa por capa. Se requieren de estructuras auxiliares para que el modelo adquiriera resistencia.⁴⁰

➤ **Materiales de impresión.**

Existe una gran variedad de materiales que pueden ser utilizados en las impresoras 3D, los principales materiales son plásticos y metales, sin embargo, actualmente se pueden considerar a las cerámicas y los materiales orgánicos. Cabe destacar, que no todas las técnicas de impresión son compatibles con todos los materiales.³³

- a) Plásticos. Es el material empleado con mayor frecuencia en la impresión 3D, ya que son polímeros que pueden ser modificados por el efecto del calor o la luz. Los principales plásticos utilizados son: *ABS* (acrilonitrilo butadieno estireno), *PLA* (ácido poliláctico), *PET* (tereftalato de polietileno), *PVA* (alcohol polivinílico), *PP* (polipropileno), poliamidas y resinas.³³
- b) Metales. Constituyen el segundo grupo de materiales utilizados en la impresión 3D. Se pueden utilizar en solos o en aleaciones, los más compatibles son: el aluminio, el acero inoxidable, el cobalto, el cromo, el hierro, el titanio y metales preciosos como la plata, el oro, el bronce y el platino.³³
- c) Cerámicas y arenas. Actualmente, la cerámica como material de impresión se utiliza en polvo seco comprimido, y su procesamiento es bastante complejo y requiere de ciertas normas lo que casusa que sean pocas las impresoras 3D que trabajan con este material. Las arenas, principalmente se utilizan en la fabricación de moldes de fundición, pero cuando están adicionadas con otro material (arenas de cuarzo con resina fenólica, arena de silicato y aluminio, etc.) suelen ocuparse en el campo de la arquitectura.^{33,44}
- d) Materiales orgánicos. Entre los materiales orgánicos más utilizados se encuentran: 1) ceras, para la elaboración de moldes que sirven de estructura de soporte para la fabricación de otras piezas; 2) madera, generalmente se emplea en las impresoras *FDM*; 3) papel; 4) materiales alimentarios, los más comunes son el chocolate, el queso y el helado; 5) tejidos biológicos, las células vivas se combinan con un gel biocompatible para la creación de tejidos orgánicos.^{33,44}

➤ **Tipos de impresora.**

Actualmente existen toda clase de impresoras 3D con propiedades y usos muy diversos, pero principalmente se pueden dividir en tres grandes grupos: las impresoras 3D personales, las impresoras 3D profesionales, y las impresoras 3D industriales.

- a) Impresoras 3D personales. Con la llegada del proyecto *RepRap* adquirieron gran popularidad ya que se inició un movimiento de apertura para las impresoras 3D compactas y de menor costo, cuya estructura puede ser impresa por completo y es de fácil instalación. Generalmente, se presentan en kits para montar, están compuestas de 4 elementos indispensables: una cama de impresión, un extrusor, un cabezal térmico y un filamento de plástico. Estos elementos se instalan sobre una estructura sólida y son controlados por un sistema de posicionamiento 3D. Las impresoras más populares son las impresoras *MakerBot*, *Ultimaker*, *Solidoodle*, *Printrbot*, *Cube* (Figura 17) y *FormLabs*.³³



Figura 17. Impresora Cube3 de 3D Systems. Impresora personal capaz de imprimir con dos colores y dos materiales (ABS, PLA), puede funcionar por medio de Wi-fi para enviar trabajos a cierta distancia desde un dispositivo Smartphone.³³

- b) Impresoras 3D profesionales. Son impresoras dirigidas a oficinas que se dedican a hacer proyectos como oficinas de arquitectura, empresas de IA, estudios de diseño, proveedores de utillaje, y en general a compañías que requieren de prototipado y producción. A comparación de las impresoras

personales, son más caras y voluminosas, pero más fiables. No necesitan montaje ya que se entregan listas para ser utilizadas. Este tipo de impresoras 3D son fabricadas por los pioneros históricos de la impresión 3D: *3D Systems* y *Stratasys* (Figura 18).³³

*Figura 18. Impresora profesional ProJet860Pro de 3D Systems se encuentra entre las impresoras más populares del mundo. Su funcionamiento es parecido al de una impresora de inyección de tinta 2D, imprime directamente en color y el material endurece casi al instante, confiriéndole excelente resolución y estabilidad a los modelos 3D impresos.*³³



c) Impresoras industriales. Son impresoras destinadas a grupos industriales con necesidades de prototipado y fabricación en masa. Se caracterizan por ser impresoras de alto rendimiento, con una excelente definición de la impresión, mucho más voluminosas y costosas que las impresoras personales y profesionales, tienen la capacidad de imprimir con varios materiales al mismo tiempo (Figura 19). Generalmente, están equipadas con servicios de impresión 3D online, como *Sculpteo* y *Shapeways*.³³



*Figura 19. Impresora Objet500 Connex3 de Stratasys. Primera impresora multimaterial y multicolor de inyección capaz de crear centenares de colores mezclando los colores básicos: cian, magenta y amarillo y; gracias a su capacidad de combinar distintos materiales permite la creación de piezas con zonas flexibles, rígidas, transparentes u opacas.*³³

Biomodelo 3D.

➤ Definición.

El término modelo 3D se utilizó por primera vez para describir al objeto 3D creado por los dispositivos de prototipado o de fabricación aditiva. Además, se ocupa este término para englobar a los gráficos 3D generados y diseñados por computadoras o extraídos de imágenes obtenidas a través de aparatos de imagenología (Figura 20).⁴⁵

Figura 20. (Imagen cortesía del Dr. Juan Ignacio Cruz Ramírez, Smart Anatomy) Smart Anatomy está formado por un equipo de profesionales médicos, con el objetivo de generar biomodelos 3D innovadores para el entrenamiento-aprendizaje de futuros médicos, odontólogos y cualquier profesional de la salud en el mundo. (Fuente Smart Anatomy)



Específicamente, un biomodelo 3D es el resultado gráfico o tangible de la recopilación de datos morfológicos de una estructura biológica o anatómica por medio de pruebas de imagen convencionales como la tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) o ecografía de alta resolución (Figura 21).⁴⁶



Figura 21. Biomodelos 3D exhibidos en el Ars Electronica Center en Linz. Son producto del trabajo de Iñigo Bilbao, arquitecto y diseñador gráfico interesado en demostrar la relación existente entre el arte, la ciencia y la tecnología. Fue el primero en someterse a una TC con el objetivo de recrear su anatomía craneal en tamaño real combinando el uso de softwares médicos con softwares de modelado 3D y máquinas de prototipado rápido.³⁹

➤ **Obtención de modelos 3D.**

Para convertir una idea en un modelo 3D y en un archivo listo para la impresión 3D son necesarias varias fases: creación o descarga de un modelo 3D; exportación a formato STL; reparación y preparación del archivo y; laminado del archivo STL y exportación hacia el software de impresión para su fabricación final (Figura 22).³³



Figura 22. Proceso de modelado e impresión 3D. 1) Diseño, creación o descarga del modelo 3D. 2) Conversión del modelo 3D al formato STL para su preparación, reparación y laminado. 3) Impresión del modelo 3D por una máquina de prototipado rápido. 4) Obtención del modelo 3D previo a la fase de limpieza, pulido y acabado.⁴⁷

1. Creación o descarga de un modelo 3D. El archivo 3D de un objeto es la realización del modelo virtual que será necesario para su posterior impresión. Los modelos virtuales pueden: crearse con la ayuda de un programa de modelado 3D como *3ds Max*, *AutoCAD*, *Blender*, *SketchUp*, *ZBrush*, etc; generarse por medio de un escaneo 3D o; incluso descargarse de un sitio web de intercambio de archivos 3D como *Thiniverse*, *Shapeways*, *Sculpteo*, *SketchUp*, etc.³³
2. Exportación al formato STL. Después de crear u obtener el modelo virtual del objeto es necesario exportar el modelo 3D al formato STL para su impresión. Un archivo STL describe la geometría de superficie del modelo 3D por medio de un mosaico tridimensional de triángulos, en el que cada uno comparte dos aristas con los triángulos adyacentes. La calidad de la impresión 3D depende de la finura del entretejido de este mosaico (Figura 23).³³

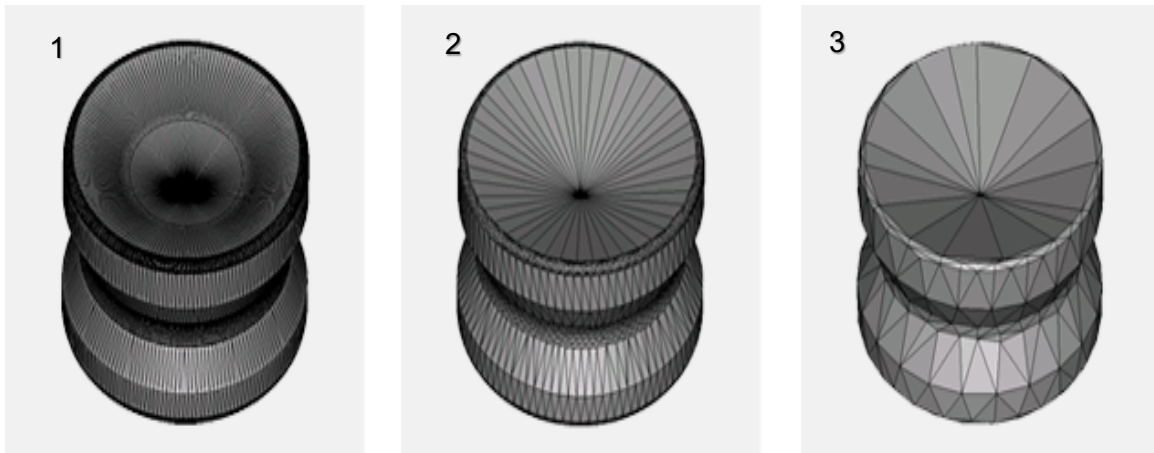


Figura 23. Formato STL donde se observa el mallado triangular. El número y tamaño de los triángulos definirá la resolución y peso del fichero final. 1) Mallado excesivo, mayor número de triángulos, resolución y peso del fichero. 2) Mallado correcto. 3) Mallado deficiente, menor número de triángulos, poca resolución y peso del fichero.⁴⁸

3. Reparación y preparación del archivo STL. Antes de la impresión del archivo STL se necesita detallar y reparar el modelo 3D, es decir, corregir errores en el mosaico por falta de aristas, caras mal orientadas o ausentes, muros delgados o caras lisas, etc. Estas reparaciones y la preparación del archivo del modelo 3D pueden hacerse de forma manual o por medio de programas informáticos como: *Magics17*, *netfabb Studio*, *MeshLab*, etc.³³
4. Laminado del archivo STL. Es la última etapa por la que pasa el modelo 3D antes de su impresión, en esta etapa el modelo pasa por un software (*Slic3r*, *KISSlicer*, *MakerWare*, *ReplicatorG*, etc.) que lo secciona en láminas de arriba hacia abajo y genera todas las indicaciones necesarias para la impresión (posicionamiento de la pieza, grosor de la capa, cantidad de material a depositar, velocidad de extrusión del material, de la boquilla y de la bandeja de impresión, etc.). Además, por medio de este software se podrá determinar la creación de las estructuras de soporte del modelo 3D sobre la cual se fabricará.³³

Antes de la impresión 3D del modelo es de suma importancia considerar que la elección del material y la técnica de impresión dependerá del tipo de artículo que se desee imprimir, así como su aplicación y uso. Terminada la elección de la técnica y materiales de impresión, el software de impresión será el encargado de ajustar las

preferencias de impresión, lanzar la impresión y controlar el comportamiento de la impresora 3D durante todo el proceso de fabricación del modelo físico. La mayoría de las impresoras están provistas de un software exclusivo para su funcionamiento.³³

Cuando la impresión se ha finalizado, se obtiene el modelo 3D físico, generalmente, suele ser necesario someterlo a algún tratamiento de acabado: limpieza, solidificación, lijado, pulido, pintura, esmaltado o chapeado.³³

➤ **Obtención de biomodelos 3D.**

En el área de la salud, el proceso de biomodelado virtual comienza con la adquisición de las imágenes anatómicas mediante exámenes imagenológicos como: tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) o ecografía de alta resolución, que producirán una secuencia de imágenes en 2D de la región anatómica a modelar en formato *DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)* (Figura 24).⁷



Figura 24. (Imagen cortesía del Dr. Juan Ignacio Cruz Ramírez, Smart Anatomy) La interpretación de imágenes médicas ha estado limitada al uso de formatos en 2 dimensiones. Sin embargo, en la actualidad las tecnologías de visualización tridimensional permiten la transformación de estas imágenes bidimensionales en objetos con un volumen virtual. (Fuente Smart Anatomy)

Posteriormente, se importarán las imágenes en formato DICOM a un programa especializado (*Mimics, Invesalius, 3D Slicer, etc.*) donde se segmentan y seleccionan los elementos anatómicos de interés y se excluyen las estructuras no relevantes, después se obtiene el renderizado del biomodelo 3D virtual, importando el archivo a un software CAD (*Blender, ZBrush, Meshmixer, MeshLab, etc.*) donde se analizarán y ajustarán detalles de la segmentación que hayan pasado desapercibidos como la corrección de la malla tridimensional de triángulos, suavizado de la superficie, etc.. Finalmente se exporta el biomodelo 3D en formato STL a la máquina de impresión 3D para su fabricación (Figura 25).^{7,46,49}

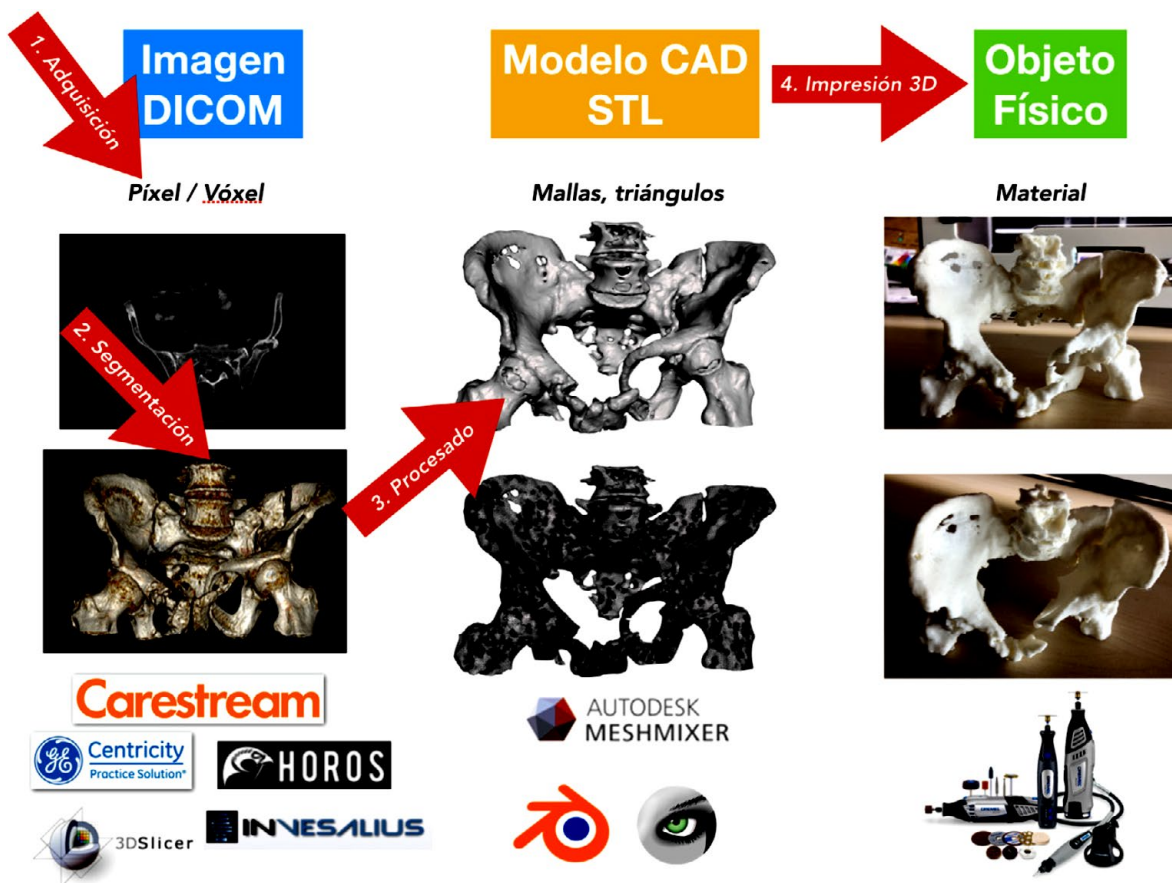


Figura 25. Proceso de obtención de los biomodelos o modelos 3D en el área médica. Se diferenciaron 4 fases en el proceso: 1) Adquisición de imágenes en formato DICOM. 2) Segmentación de las imágenes con softwares de diseño. 3) Procesado del modelo CAD al formato STL. 4) Fabricación por impresión 3D.⁴⁶

Al igual que en la impresión de los modelos 3D, para la impresión física de los biomodelos 3D es fundamental la selección de la técnica de impresión 3D, así como el material más apropiado. Independientemente de la selección de la técnica de impresión y el material, el proceso de fabricación comenzará con la importación del modelo CAD en formato STL al software de laminación que lo convertirá en órdenes que van a ser interpretadas por la impresora 3D para la fabricación del biomodelo 3D capa por capa (Figura 26).⁴⁶

Figura 26. (Imagen cortesía del Dr. Juan Ignacio Cruz Ramírez, Smart Anatomy) Los avances tecnológicos permiten que la tecnología 3D siga evolucionando y, actualmente se exploran aplicaciones en distintos campos, sobre todo en las ciencias de la salud. En Smart Anatomy logran que la información obtenida del tomógrafo esté físicamente al alcance de las manos de quien lo requiere. (Fuente Smart Anatomy)



Smart Anatomy®
C.D. Juan Ignacio Cruz
Ramírez

Todos los derechos reservados Smart Anatomy © 2021

Aplicaciones de la impresión y los biomodelos 3D.

La impresión y la utilización de biomodelos 3D, ofrecen una amplia gama de posibilidades. Algunos de sus usos y aplicaciones son:

- Formas geométricas complejas. Por medio de la impresión 3D se pueden realizar formas geométricas muy complejas; tramas y mallas variadas que se utilizan generalmente en la arquitectura, el diseño industrial y el arte.³³
- Industria automotriz y aeronáutica. En este tipo de industria, la impresión y el modelado 3D son tecnologías que se utilizan para realizar piezas complejas y especializadas, principalmente de metal sin necesidad de ensamblaje posterior. Además, gracias a la impresión 3D es posible innovar y optimizar el diseño y disminuir los tiempos y costos de producción.³³
- Objetos únicos muy elaborados. La precisión de alguna técnica de impresión 3D, permiten la fabricación de objetos únicos (pequeños, o muy detallados). En la actualidad, dos sectores emplean con bastante asiduidad estas técnicas: la joyería y la Odontología (Figura 27).³³

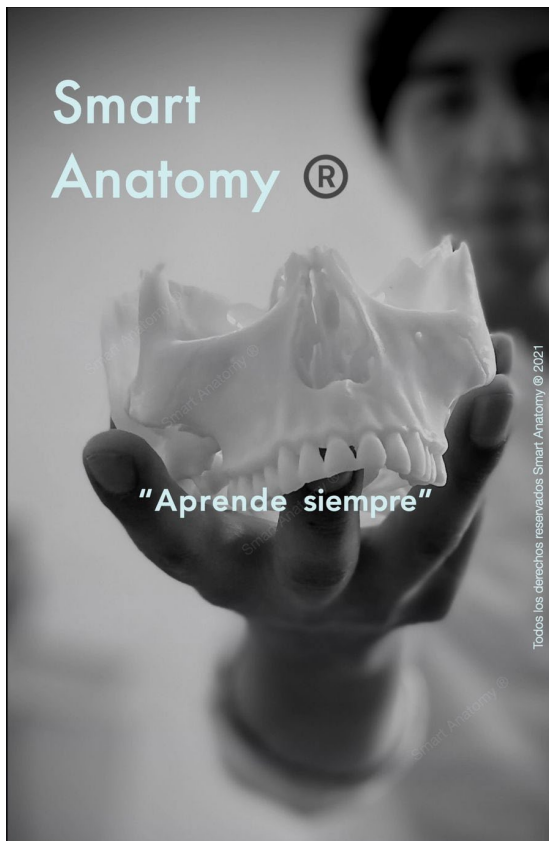


Figura 27. (Imagen cortesía del Dr. Juan Ignacio Cruz Ramírez, Smart Anatomy). Modelo obtenido a partir de cortes tomográficos para la evaluación diagnóstica y planeamiento quirúrgico de un paciente, que posteriormente se utilizó como modelo didáctico en estudiantes del área de la salud. (Fuente Smart Anatomy)

- Prótesis. Con la impresión y los biomodelos 3D se abre un mundo de posibilidades para la fabricación artificial de prótesis, ya que se realizan de forma personalizada a la medida del individuo con materiales resistentes y ligeros.³³
- Guías preoperatorias y funcionales. La impresión 3D y los biomodelos son de gran utilidad para el diagnóstico, tratamiento y planificación preoperatoria puesto que es una herramienta útil para simular el procedimiento operatorio antes de realizarlo en el paciente. Además, a partir de TAC´s o RM´s se crean pequeñas piezas de plástico que funcionan como plantilla o guía quirúrgica durante la cirugía.³⁴
- Órganos humanos. Al ser una técnica muy versátil, la impresión 3D ha alcanzado ámbitos muy diversos. Actualmente, las impresoras 3D son capaces de combinar materiales plásticos o metálicos con sustancias biológicas (suero, células madre, etc.) lo que permite la creación de un objeto orgánico (biomodelo), ampliando las posibilidades de la creación de órganos funcionales para trasplantes, implantes, etc.³³ El reto de esta aplicación es encontrar el material adecuado que permita completar la creación e impresión de órganos artificiales biocompatibles y funcionales.³⁴

Ventajas y desventajas de la impresión y los biomodelos 3D.

Como todo proceso de producción, la impresión 3D y su producto, los modelos y biomodelos 3D, tienen ventajas y desventajas que deben ser tomadas en cuenta al momento de considerarlos como medio viable para lograr un fin específico.

➤ Ventajas.

1. Versatilidad e innovación. Una sola impresora 3D es capaz de crear una infinidad de productos distintos.³⁵
2. Facilita el proceso de producción de objetos. La impresión 3D puede producir objetos y piezas detalladas sin la necesidad de utilizar múltiples herramientas. Es posible rediseñar el producto o cualquiera de sus partes en cualquier momento adaptándose a las necesidades del productor o consumidor.⁴⁰

3. Reducción de costos y tiempo. Se pueden producir desde pequeñas cantidades a bajo costo y ayuda a reducir la pérdida de material de producción. Además, el tiempo entre el diseño y la fabricación es mucho menor en comparación a los procesos de fabricación tradicionales.⁴⁰
 4. Procesos de producción híbridos. Se pueden combinar distintos procesos de fabricación, así como materiales para la creación de objetos, incrementando así sus propiedades finales.⁵⁰
 5. Aplicaciones múltiples. La implementación de la impresora 3D en ciertos campos de estudio aún es limitada, lo que abre las posibilidades para descubrir nuevas y sorprendentes aplicaciones.³⁵
- Desventajas.
1. Efecto escalera. La producción en capas provoca que el trazado de formas geométricas curvas se complique, y por tanto el acabado superficial tiene cierta rugosidad.⁵⁰
 2. Vulnerabilidad a los derechos de autor. La réplica de objetos con copyright será difícil de controlar, ya que los dispositivos de impresión 3D no tienen ninguna restricción al respecto.³⁵
 3. Usos malintencionados. Así como las impresoras 3D han sido de gran utilidad para la creación de objetos que faciliten y mejoren la calidad de vida de las personas, existe la posibilidad de que su uso se distorsione y se emplee para la creación de objetos que pongan en riesgo la seguridad de las personas.³⁵
 4. Aumento de productos inútiles. Por medio de los modelos 3D podemos poner a prueba nuestra creatividad y crear objetos insólitos, sin embargo, antes de imprimir objetos sin razón alguna, se debe analizar si tendrá alguna utilidad real.³⁵
 5. Terminación. La calidad de terminación de la mayoría de las técnicas de impresión es buena, pero generalmente necesitan de procesos de limpieza, pulido y acabado para mejorar su valor estético.⁴⁰

Capítulo III. Respuesta celular.

Adaptaciones celulares.

➤ Definición.

Se define como adaptación celular a la respuesta reversible que sufre la célula en su número, tamaño, diferenciación celular y/o actividad ante cambios en su entorno (estímulos fisiológicos y/o patológicos) que le permiten conservar su viabilidad y función. Cuando el estímulo es eliminado, la célula puede recuperar su estado original sin sufrir consecuencias perjudiciales.⁵¹

➤ Clasificación.

La respuesta adaptativa puede darse de diferentes formas, ya sea aumentando el tamaño y actividad celular (hipertrofia); aumentando el número de células (hiperplasia); disminuyendo el número y función celular (atrofia); cambiando su diferenciación celular (metaplasia).⁵¹

a) Hipertrofia.

La hipertrofia se refiere al aumento de tamaño de las células, lo que provoca un incremento en el tamaño de los órganos. El aumento de tamaño se debe a una mayor síntesis y ensamblaje de componentes estructurales intracelulares (Figura 28).⁵¹

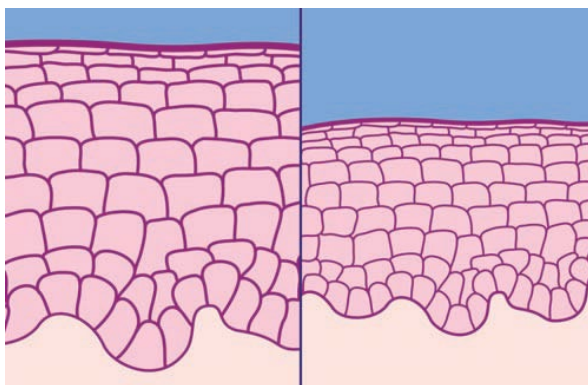


Figura 28. Esquema que muestra el aumento en el tamaño de las células durante la hipertrofia, a comparación del tamaño normal de las células.⁵²

Se puede clasificar en fisiológica o patológica, según la situación que desencadene su desarrollo. Es fisiológica, cuando el aumento es causado por una mayor demanda funcional o metabólica y/o estimulación hormonal y factores de crecimiento; y patológica, cuando se desarrolla en el marco de una enfermedad.⁵³

La mayor diferencia entre la hipertrofia funcional y patológica es que la funcional, es una respuesta adaptativa y reversible que aumenta la capacidad metabólica de los órganos y células afectadas, mientras que la patológica se caracteriza por un proceso irreversible que puede llegar a disminuir la capacidad funcional y tisular.⁵⁴

b) Hiperplasia.

La hiperplasia es la respuesta a un estímulo externo que consiste en el aumento del número de células de un órgano o tejido. Se observa principalmente en tejidos u órganos que contienen abundantes células madre tisulares, o tejidos cuyas células tienen la capacidad para dividirse, es decir, la capacidad de sintetizar ADN e iniciar la proliferación celular (Figura 29).⁵⁵

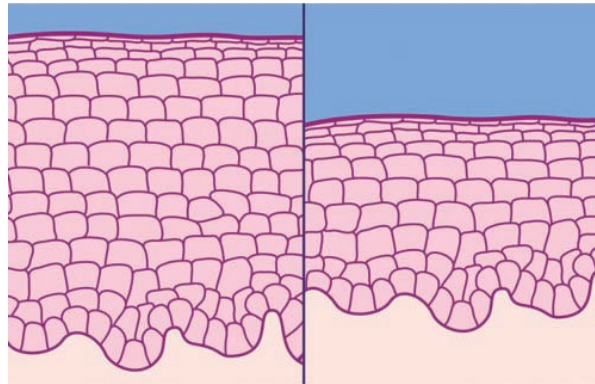


Figura 29. En la hiperplasia, se observa el aumento en el número de células. La principal diferencia entre la hiperplasia y la hipertrofia es que, en la hiperplasia no hay aumento de tamaño en las células.⁵²

La hiperplasia puede ser fisiológica o patológica. La fisiológica se debe a la acción de hormonas o factores de crecimiento que se desencadenan en diversas circunstancias como el aumento de la capacidad funcional o la necesidad de un aumento compensatorio tras una lesión o resección. Mientras que, la patológica se debe a la producción excesiva de hormonas o factores de crecimiento a causa de una enfermedad o agente patógeno; además pueden ser a causa de una irritación o traumatismo crónico denominado proliferación reactiva.⁵⁵

Al igual que en la hipertrofia, la hiperplasia fisiológica es un fenómeno regulado que provoca que los órganos, tejidos y células afectadas regresen a la normalidad cuando el estímulo cesa. Sin embargo, la hiperplasia patológica con el tiempo puede desarrollar proliferaciones malignas.⁵¹

c) Atrofia.

Por definición la atrofia es la disminución del tamaño y número de las células de un órgano o tejido. Macroscópicamente, los órganos y tejidos disminuyen su volumen, pero siguen conservando su forma y contorno.⁵⁵ En la atrofia, a diferencia de la hipertrofia e hiperplasia, se observa una reducción funcional que provoca, a su vez, una disminución en la síntesis de proteínas y un aumento en la degradación de las células (Figura 30). En la primera fase del proceso el grado de muerte celular es mínimo; sin embargo, la atrofia puede evolucionar de manera progresiva hasta causar una lesión irreversible y provocar un aumento en la muerte celular ya sea por apoptosis o autofagia.⁵¹

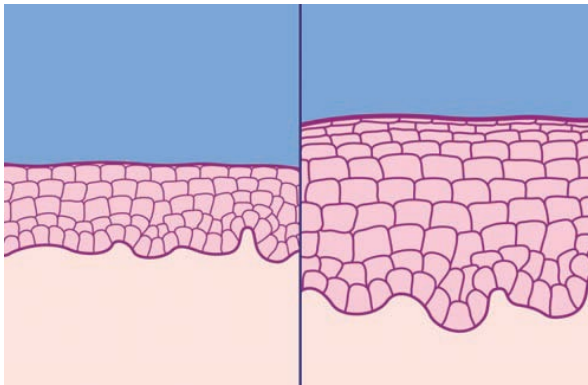


Figura 30. En la imagen de la izquierda se puede apreciar la disminución del tamaño de las células. En la atrofia, se disminuye tanto el tamaño como el número de células del tejido.⁵²

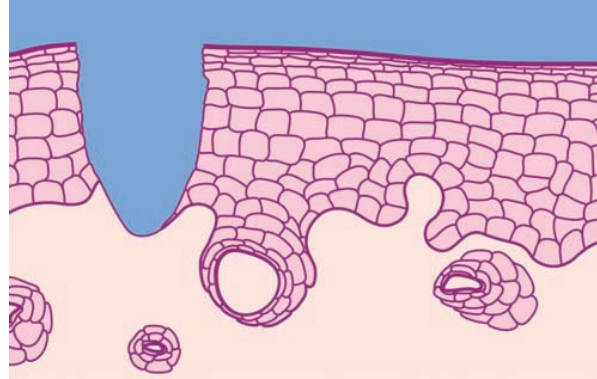
La atrofia puede ser fisiológica o patológica. La atrofia fisiológica se da por la disminución de la señalización de hormonas o factores de crecimiento durante el desarrollo embrionario, o como consecuencia de procesos fisiológicos normales. Mientras que, la atrofia patológica puede ser local o generalizada, y ser causada por diferentes motivos como: inactividad física (atrofia por desuso), pérdida de inervación (atrofia por denervación), disminución del riego sanguíneo (isquemia), desnutrición, interrupción de las señales tróficas, aumento de la presión, lesión celular persistente y enfermedades crónicas.^{51,56}

d) Metaplasia.

La metaplasia se refiere al cambio reversible que sufren las células, generalmente epiteliales y mesenquimatosas, cuando son reemplazadas por otro tipo de células de la misma extirpe. El proceso de cambio implica una respuesta adaptativa en la que un tipo de célula más sensible a estímulos o agresiones es sustituido por otra

clase de células que soporte mejor dichas condiciones. Este cambio, sin embargo, da lugar a la disminución funcional o metabólica, y en ocasiones, aumenta la predisposición de los tejidos metaplásicos para una transformación maligna (Figura 31).⁵¹

Figura 31. La metaplasia se manifiesta como el cambio en la arquitectura celular, ya que se reemplaza un tipo celular por otro, lo que además puede modificar su tamaño y número.⁵²



Este proceso se da con mayor frecuencia en tejidos con mayor renovación celular como consecuencia de una reprogramación en la diferenciación de células madre o células mesenquimatosas indiferenciadas producida por la alteración en la señalización de los factores de transcripción que regulan la diferenciación celular.⁵¹

Entre las causas más frecuentes que pueden producir metaplasia, se encuentran: aumento o déficit de vitamina A, irritación por sustancias endógenas o exógenas, enfermedades e infecciones crónicas, lesiones celulares o tisulares, y en general alteración en sustancias que alteren los factores de transcripción reguladores de la diferenciación.^{55,56}

Lesión celular.

➤ **Definición.**

La lesión celular se define como la respuesta que produce la célula a los estímulos fisiológicos y/o patológicos que provocan cambios estructurales transitorios o permanentes en ella.⁵⁵

➤ **Tipos de lesión.**

- a) Lesión celular reversible. Se refiere a la lesión en la que la alteración morfológica y funcional puede normalizarse cuando el estímulo que la provocó cesa.⁵¹

- b) Lesión irreversible. Se produce cuando la exposición a un estímulo nocivo, excesivo y persistente provoca que la célula supere su “punto de no retorno” donde es incapaz de recuperar su estado morfológico y funcional normal que culmina en la muerte de la célula.⁵¹

Muerte celular.

➤ **Definición.**

La muerte celular es parte fundamental del ciclo celular y puede ser accidental o programada, iniciada y ejecutada a través de diferentes vías de señalización (mecanismos fisiológicos o patológicos).⁵⁷

➤ **Tipos de muerte celular.**

Las diferentes formas de muerte celular se clasifican según sus características morfológicas y/o bioquímicas. Según sus características morfológicas, pueden ser: necrosis, apoptosis, y autofagia.⁵⁷

- a) Necrosis. Es un proceso patológico que ocurre después de una lesión o agresión grave a la célula. Se le considera como una forma de muerte accidental y no regulada que se presenta cuando enzimas lisosómicas penetran en el citoplasma, digieren los orgánulos celulares y el contenido escapa de la membrana plasmática hacia el espacio extracelular induciendo una reacción inflamatoria en el anfitrión.⁵⁷
- b) Apoptosis. También llamada muerte celular programada, ya que es un proceso regulado que interviene en diferentes etapas del desarrollo y sirve para erradicar células no deseadas, envejecidas o potencialmente perjudiciales. Puede o no asociarse a una lesión celular. A diferencia de la necrosis, en la apoptosis no hay reacción inflamatoria debido a que la célula es fagocitada antes de que el contenido intracelular escape hacia el espacio extracelular.⁵⁷
- c) Autofagia. Es un proceso de degradación regulado que interviene en el recambio y eliminación de proteínas y orgánulos celulares defectuosos o como medio de adaptación celular que permite la creación de sustratos metabólicos a partir de componentes propios.⁵⁷

Causas de lesión y muerte celular.

Las causas de la lesión celular pueden ser variadas e ir desde la agresión física hasta anomalías celulares. Los estímulos nocivos pueden quedar agrupados en una de las siguientes categorías:

- a) Hipoxia e isquemia. La hipoxia provoca una deficiencia de oxígeno y la isquemia una reducción del aporte sanguíneo. En ambos casos, el tejido se queda sin oxígeno y sin los nutrientes adecuados lo que conduce a la producción de metabolitos tóxicos. Las principales causas de hipoxia son: isquemia, insuficiencia cardiorrespiratoria, anemia, intoxicación por monóxido de carbono, o hemorragia intensa.⁵⁸
- b) Agentes físicos. Los principales agentes causantes de lesión y muerte celular son los traumatismos mecánicos o físicos, quemaduras (calor o frío extremo), cambios de presión atmosférica, radiación y descargas eléctricas.⁵⁸
- c) Sustancias químicas y fármacos. Los compuestos químicos pueden producir lesión o muerte celular directamente o por alteración del equilibrio electrolítico de las células.⁵⁸
- d) Agentes infecciosos. Son aquellos microorganismos capaces de producir un proceso infeccioso o enfermedad, y engloban a los priones, virus, bacterias, hongos, protozoos y helmintos. Estos microorganismos lesionan a la célula mediante tres mecanismos:
 1. El microorganismo entra en la célula del anfitrión e induce cambios en el metabolismo y proliferación celular o causa directamente la muerte.
 2. Liberan toxinas capaces de matar a las células, producen enzimas que degradan los componentes tisulares, o provocan daño en las estructuras anatómicas.
 3. Inducen respuestas inmunitarias del anfitrión que, aunque son dirigidas contra los microorganismos, acentúan el daño a los tejidos.⁵⁸
- e) Reacciones inmunológicas. Las reacciones inmunitarias y alérgicas crónicas o excesivas inducen reacciones inflamatorias que pueden ser origen de lesión y muerte celular o tisular.⁵⁸

- f) Alteraciones genéticas. Los defectos genéticos inducen lesión celular por la carencia de proteínas funcionales, o por la acumulación de ADN dañado o proteínas mal plegadas que además pueden estimular la muerte celular cuando no se consiguen reparar.⁵⁸
- g) Desequilibrios nutricionales. Es una de las principales causas de lesión celular debido a la carencia o sobreproducción de nutrientes que pueden o no ser absorbidos por las células y modificar su estructura.⁵⁸
- h) Envejecimiento. El proceso de envejecimiento celular reduce su capacidad para dar respuesta a los estímulos externos e internos lo que ocasiona con mayor facilidad una lesión celular que puede culminar en la muerte de las células.⁵⁸

Alteraciones morfológicas en la lesión y muerte celular.

Independientemente de los estímulos y mecanismos bioquímicos que comiencen la lesión celular, existe una secuencia predeterminada de alteraciones morfológicas y estructurales que siguen la mayoría de los tipos celulares.

➤ Lesión celular reversible.

Son dos las principales manifestaciones morfológicas que pueden ser identificadas en la lesión celular reversible: el edema celular y el cambio graso.⁵⁹

El edema celular es la primera manifestación de las lesiones celulares que comúnmente se designa como cambio hidropónico, tumefacción turbia o degeneración vacuolar. Se debe principalmente a la disfunción de las bombas iónicas de sodio y potasio de la membrana celular que aumentan la permeabilidad de la célula impidiendo la homeostasis iónica y de líquidos.⁵⁹

El cambio graso se manifiesta principalmente en lesiones causadas por hipoxia, intoxicaciones o cambios metabólicos y consiste en la aparición de vacuolas lipídicas en el citoplasma. Se observa, principalmente, en células implicadas o dependientes del metabolismo de las grasas.⁵¹

Además de estas manifestaciones, se pueden observar otros cambios intracelulares como: a) alteraciones en la membrana plasmática, como formación de vesículas,

atrofia de las microvellosidades y pérdida de uniones intracelulares; b) cambios mitocondriales con aparición de densidades amorfas de fosfolípidos; c) dilatación del retículo endoplasmático (RE) con desprendimiento y disociación de polisomas, y d) alteraciones nucleares con segregación de componentes granulares y fibrilares. Estas alteraciones se manifiestan en la reducción tanto de la síntesis de proteínas como de la producción de ATP.^{51,56}

➤ **Lesión celular irreversible.**

Aunque no hay una correlación morfológica exacta para determinar la irreversibilidad de una lesión, se caracteriza principalmente por tres sucesos importantes: a) incapacidad de recuperar la función mitocondrial (fosforilación oxidativa y producción de ATP); b) pérdida estructural y daño funcional de la membrana plasmática; y c) pérdida de la integridad del ADN y la cromatina.⁵⁸

➤ **Muerte celular.**

En la muerte celular, la función y viabilidad de la célula pueden haberse perdido mucho antes de que los cambios morfológicos se manifiesten. Actualmente se han descrito tres vías principales de muerte celular: la necrosis, la apoptosis y la autofagia, y aunque las tres vías tienen diferentes mecanismos de señalización es importante conocer la manera en que los procesos se manifiestan morfológicamente.⁵⁶

a) Necrosis.

Se produce a consecuencia de la desnaturalización de las proteínas intracelulares y de la digestión enzimática de la célula. Al romperse la membrana celular el contenido intracelular se extravasa e induce un proceso inflamatorio en el tejido circundante. La digestión de la célula se realiza por las enzimas de los lisosomas que pueden derivar de la misma célula o de los leucocitos que intervienen en la reacción inflamatoria. La necrosis, se caracteriza morfológicamente por:

- 1) Cambios citoplasmáticos que son perceptibles por el aumento de la eosinofilia debido a la pérdida de ARN citoplasmático y a la desnaturalización de las proteínas citoplasmáticas. Las células necróticas presentan un aspecto homogéneo vítreo debido a la pérdida de glucógeno, y cuando las

enzimas han digerido los organelos, el citoplasma se vacuoliza y adopta un aspecto “apolillado”. Además, se observan figuras de mielina que son células muertas reemplazadas por masas de fosfolípidos derivadas de las membranas celulares dañadas. Estas figuras de mielina pueden ser fagocitadas por otras células o degradadas para formar ácidos grasos. Cuando estos ácidos grasos se unen a sales de calcio, las células muertas, pueden quedar calcificadas.⁵¹

- 2) Cambios nucleares, que son consecuencia de la fragmentación del ADN y la cromatina. Pueden manifestarse en alguno de los tres patrones siguientes: picnosis, se caracteriza por la contracción del núcleo y aumento de la coloración basófila a medida que la cromatina se condensa en una masa sólida retraída; cariorrexis, el núcleo picnótico se fragmenta y se dispersa en el citoplasma, y cariólisis, caracterizada por disipación de la cromatina y pérdida de ADN por degradación enzimática o extrusión del núcleo picnótico.⁵⁶

Cuando la necrosis se da en un órgano o tejido se presentan 6 diferentes patrones morfológicos que son: necrosis coagulativa, necrosis licuefactiva, necrosis gangrenosa, necrosis caseosa, necrosis grasosa y necrosis fibrinoide.^{51,58}.

1. Necrosis coagulativa. La estructura del tejido se preserva por algunos días debido a que la lesión no sólo desnaturaliza las proteínas estructurales, sino también las enzimas, bloqueando la proteólisis de las células muertas. La principal causa de necrosis coagulativa se debe a la isquemia por obstrucción de un vaso sanguíneo del tejido irrigado. Se presenta en todos los tejidos sólidos, excepto el encéfalo.^{51,58}.
2. Necrosis licuefactiva. Se presenta en las infecciones locales causadas por microorganismos (bacterias u hongos) que estimulan la acción y liberación de enzimas de los leucocitos que digieren las células muertas transformándose en un líquido viscoso amarillento de consistencia pastosa llamado pus. La muerte por hipoxia de las células del sistema nervioso central se manifiesta con este patrón de necrosis.^{51,58}.

3. Necrosis gangrenosa. La gangrena es un término que se emplea con frecuencia en la práctica clínica, al cual no se le atribuye un patrón específico de muerte celular. Generalmente, se refiere a la pérdida de irrigación de una extremidad que experimenta necrosis coagulativa que afecta a múltiples capas de tejido. Cuando a esta necrosis coagulativa se superpone una infección, la necrosis cambia su patrón a licuefactivo, produciendo una gangrena húmeda.^{51,58}
4. Necrosis caseosa. También denominada gomosa, se presenta generalmente en infecciones como la tuberculosis, la sífilis y algunas micosis.⁵⁵ El foco necrótico es de aspecto friable blanquecino-amarillento y contiene células muertas y residuos granulares englobados en un borde inflamatorio bien diferenciado. Su apariencia es característica de un granuloma.⁵¹
5. Necrosis grasosa. Afecta específicamente al tejido graso y puede presentarse en dos situaciones: pancreatitis aguda y traumatismo. En ambos casos, las enzimas lipídicas se encargan de digerir las células adiposas de los tejidos afectados y circundantes. Cuando se hidrolizan las células adiposas se generan ácidos libres que se fijan al calcio para formar jabones de calcio (saponificación) provocando la calcificación del tejido necrótico. la zona necrótica se visualiza como un depósito duro blanquecino-amarillento incrustado que contienen células adiposas necróticas rodeadas de células inflamatorias.^{56,59}
6. Necrosis fibrinoide. Se asocia principalmente a las reacciones inmunitarias como consecuencia de depósitos de complejos antígeno-anticuerpo en las paredes de los vasos sanguíneos. Su nombre se debe a la coloración rosa intensa, similar a la fibrina, que producen estos complejos al extravasarse de los vasos sanguíneos junto con las proteínas plasmáticas en tinciones HyE.^{56,59}

b) Apoptosis.

Es un mecanismo de muerte celular programado, en el que las células inducen su propia muerte en respuesta a determinados estímulos o señales que pueden tener origen en la misma célula o en la interacción con otras células.⁶⁰ Es un proceso de

suma importancia tanto en condiciones fisiológicas (desarrollo o involución fisiológica) como patológicas, ya que tiene como función principal mantener la homeostasis en distintas poblaciones celulares.⁶¹

Las células que sufren apoptosis se caracterizan por:

1. Retracción celular. La célula se contrae, el citoplasma se vuelve denso intensamente eosinófilo, y los orgánulos se condensan.^{51,59}
2. Condensación de la cromatina. Es su principal característica, la cromatina se condensa periféricamente en la membrana nuclear, y el núcleo sufre de picnosis o cariorrexis.^{51,59}
3. Vesicularización de la membrana y formación de cuerpos apoptóticos. La membrana celular muestra circunvoluciones superficiales que después se fragmentan para formar cuerpos apoptóticos de forma esférica u oval y que contienen orgánulos celulares compactados. Al mantenerse intacta la membrana plasmática de la célula y de los cuerpos apoptóticos no hay extravasación del contenido intracelular lo que no da lugar a reacción inflamatoria. Las células apoptóticas reciben distintos nombres según su localización.^{51,59}
4. Fagocitosis de células apoptóticas. La membrana plasmática de los cuerpos apoptóticos se modifica para que atraiga con mayor facilidad a los fagocitos, en especial, a los macrófagos y sean degradados por las enzimas lisosómicas de estos.^{51,59}

c) Autofagia.

Es un término que se emplea para describir el proceso de degradación celular que se lleva a cabo por los propios lisosomas de la célula. Existen tres tipos de autofagia: autofagia mediada por chaperonas o CMA, restringida a un subgrupo específico de proteínas citosólicas solubles que no requiere la formación de vesículas intermediarias; microautofagia, por invaginación directa del material citoplasmático dentro del lisosoma a través de su membrana; y macroautofagia, simplemente llamada autofagia que consiste en el secuestro de porciones del citoplasma y orgánulos dentro de una vacuola de doble membrana llamada autofagosoma.⁶²

La autofagia es un mecanismo esencial para la homeostasis celular que tiene como objetivo primordial la supervivencia o adaptación de la célula ante circunstancias adversas. Interviene en diversos estados fisiológicos como el ejercicio y el envejecimiento, y en procesos patológicos como la ausencia prolongada de nutrientes, remoción de organelos dañados, procesos infecciosos y diversas enfermedades (cáncer, VIH, etc.).⁶²

El proceso de autofagia consta de 4 etapas:

1. **Iniciación.** La autofagia es inducida por medio de una serie de estímulos (señales nutricionales, factores de crecimiento, hormonas y proteínas) que promueve el ensamblaje del complejo de nucleación.⁶³
2. **Nucleación.** Inmediatamente después del ensamblaje del complejo de nucleación se inicia la creación de la doble membrana de aislamiento en el citoplasma (fagoforo).⁶⁴
3. **Expansión y maduración.** Los fagoforos se elongan hasta formar una vesícula de doble membrana (autofagosoma) que capta e integra a los orgánulos dañados, proteínas, microorganismos, etc. Después de la captación del material citosólico, la membrana se cierra.⁶⁴
4. **Fusión.** Después del cierre y maduración del autofagosoma, este se fusiona con un lisosoma para formar un autolisosoma que será degradado por enzimas lisosómicas y reciclará el material secuestrado en el citoplasma.⁶⁴

Capítulo IV. Lesiones elementales en Patología.

Definición.

Se define como lesión elemental al signo característico y objetivo que se manifiesta en la piel o mucosa de una enfermedad o proceso patológico. Varias enfermedades pueden compartir una misma lesión elemental con características propias en color, número, tamaño, morfología, consistencia, distribución y localización. Además, más de una lesión elemental, en diferentes etapas evolutivas, se puede presentar en una misma enfermedad.⁶⁵

La base para un acertado diagnóstico es la adecuada descripción de las lesiones elementales, las cuales deben de palparse para determinar su textura y profundidad.⁶⁶

Clasificación.

Desde un punto de vista histológico y embriológico, la mucosa bucal es similar a la piel; sin embargo, las características morfofuncionales de la mucosa bucal modifican la forma de responder y el patrón de presentación de las lesiones elementales. Es por lo que, aunque las lesiones dermatológicas pueden ser semejantes a las de la mucosa bucal, no deben de considerarse como iguales.^{3,67}

La clasificación de las lesiones elementales se basa en dos modelos principalmente: el modelo esencialista y el nominalista. El modelo esencialista fue propuesto por Robert Willan y Thomas Bateman en el siglo XVIII, y el modelo nominalista fue propuesto por Ferdinand Hebra en el siglo XIX.⁶⁸

El modelo **esencialista** considera la descripción de las lesiones elementales, teniendo en cuenta sus características morfológicas como: tamaño, elevación, profundidad y consistencia, así como su evolución clínica. En contraste, el modelo **nominalista** excluye la evolución morfológica de las lesiones elementales para considerar de forma objetiva las características que pueden ser observadas al momento de la lesión, y además incluye la diferencia entre lesiones primarias y

secundarias; así como la introducción de términos analógicos para definir el tamaño de las lesiones.⁶⁹

De esta manera, las lesiones elementales, se pueden dividir en dos categorías, según el modelo nominalista: 1) primarias, cuando se manifiestan en tejido sano; 2) secundarias, cuando se asientan o derivan de lesiones primarias como consecuencia de la evolución de estas.⁷⁰ Según el modelo esencialista se pueden dividir por su color, volumen o tamaño, de contenido líquido, por la pérdida de continuidad superficial o como consecuencia de un proceso previo.⁶⁷

Ambos modelos de clasificación coexisten hoy en día, y para lograr una mayor estandarización en la definición de las lesiones se puede hacer una combinación que incluya los dos.⁶⁹ Es así que las lesiones primarias incluirán a las lesiones que presenten cambio de color, aumento de volumen, contenido líquido; mientras que las lesiones secundarias serán las que presenten pérdida de la continuidad superficial y se manifiesten como consecuencia de un proceso previo.^{66,71}

➤ **Lesiones primarias.**

1. Con cambio de color.

- a) **Mácula.** Es un área pequeña de piel o mucosa de color diferente al tejido circundante (en mucosa las coloraciones más comunes son blancas, rojizas o café-negruzcas), de menos de 1 cm de diámetro, no palpable (ni elevada ni deprimida), de bordes irregulares o bien definidos.⁶⁷ Su origen puede ser vascular o pigmentario (endógeno o exógeno) (Figura 32).⁷¹ Las vasculares pueden integrar a las petequias (pequeños puntilleos) y la erupción extendida en la piel o mucosa, formada por máculas recibe el nombre de exantema macular.⁷²



Figura 32. Mácula, área pequeña que muestra alteración de color de origen melanótico en el labio superior.⁵²

- b) Mancha. Al igual que la mácula es un área de piel o mucosa que presenta cambio en la coloración, de bordes irregulares o definidos, sin elevaciones ni depresiones. A diferencia de la mácula, en Norteamérica, se considera que su tamaño sea más de 1 cm de diámetro, y además del cambio de coloración, puede presentar cambio de textura en su superficie (Figura 33).^{52,73}

Figura 33. Mancha, área que presenta cambio de coloración más grande que la mácula. Un ejemplo, es el tatuaje por amalgama.⁵²



- c) Placa. Lesión elevada en forma de meseta, de consistencia sólida, palpable, que presenta cambio de color de la piel o mucosa, de diámetro mayor a 1 cm, con bordes bien definidos o irregulares (Figura 34).^{65,67,72} Su superficie puede ser lisa o verrugosa, pueden ser resultado de la unión de varias pápulas.⁷⁰ Para su descripción se puede incluir el grado de elevación y la sensación táctil.⁷³

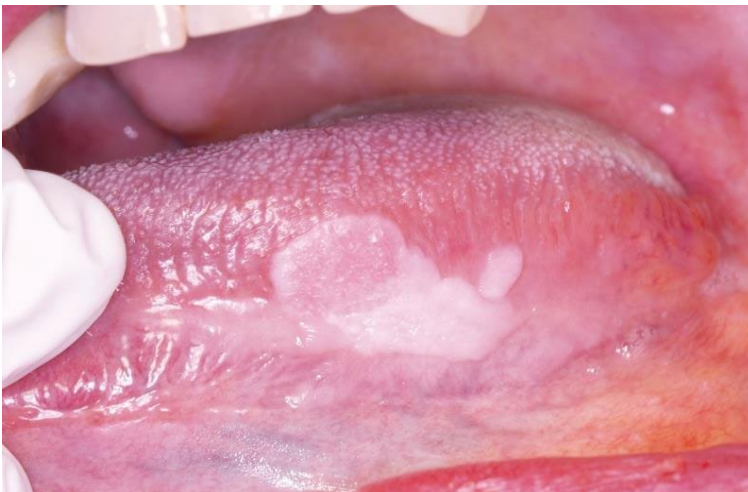


Figura 34. Leucoplasia en el borde lateral de la lengua. Este tipo de lesiones, se describen como placas blancas que no se desprenden al raspado.⁷⁰

2. Aumento de volumen.

a) Roncha. Lesión sólida, elevada, transitoria a causa de un edema dérmico (extravasación de suero a la dermis superficial), eritematosa que en su porción central presenta palidez, de tamaño variable, de bordes indefinidos, desaparece sin dejar huella.^{52,66,73} Son un signo frecuente en las reacciones alérgicas y aparecen después de las picaduras de insectos, reacciones alimentarias o como irritación mecánica en pacientes con dermatografismo.⁷⁴ También se le conoce con el nombre de habón cuando tiene una duración evanescente, es decir que desaparecen en menos de 24 horas.⁷⁵ Un exantema formado por habones o ronchas recibe el nombre de exantema urticariforme o urticaria y, por lo general es pruriginoso.⁷²

b) Pápula. Lesión sólida, bien circunscrita, elevada y palpable, menor a 1 cm de diámetro, de forma esférica u ovoide, generalmente de base sésil.^{73,75} Su coloración puede o no cambiar, y pueden estar solas o agrupadas, siempre rodeadas de mucosa sana.⁶⁵ Su origen puede ser epidérmico o dérmico por lo que son firmes a la palpación, involuciona espontáneamente sin dejar cicatriz (Figura 35).⁶⁶ Las congregaciones de las pápulas forman elevaciones en forma de meseta, llamadas placas.⁷²

Figura 35. Pápula en mucosa labial de labio superior conocida como pólipo fibroepitelial por irritación crónica.⁵²



c) Papila. Lesión elevada, sólida de crecimiento exofítico con forma cónica o de cúpula, de tamaño variable, de superficie húmeda y consistencia blanda. Cuando la superficie es seca, de consistencia firme y cubierta de una capa córnea de grosor variable asociada a hiperqueratosis se llama verrucoide (Figura 36).^{67,70}



Figura 36. Lesiones verrucoideas en el labio causadas por virus de papiloma humano (VPH).⁷⁰

d) Crecimiento digitiforme. Crecimiento exofítico de tamaño variable que se caracteriza por una proyección en forma de dedo que termina en punta, puede ser única o múltiples (en guante). Por efecto del roce puede presentar una cubierta, generalmente de color blanco, asociada a hiperqueratosis y se denomina verrucoide o papilar.⁶⁷

e) Nódulo. Lesión palpable y sólida de piel o mucosa, redonda o elipsoide, de 1 a 2 cm de diámetro, cuya consistencia depende del tejido de origen.^{67,73} Se localiza en planos profundos de la dermis y/o hipodermis. La epidermis que lo cubre generalmente no está fija y puede moverse con facilidad sobre la lesión; sus bordes están bien definidos (superficiales) o mal definidos (profundos).^{52,72} Es una lesión de evolución crónica que al desaparecer suelen dejar cicatriz (Figura 37).⁶⁶

Figura 37. Nódulo en comisura del labio como manifestación de hiperplasia fibrosa a causa de irritación crónica.⁵²



f) Tumor. Es un término que define un aumento de volumen, de diferentes orígenes, puede ser inflamatorio o bien, se usa para definir la neoformación de un tejido, constituido por proliferación tisular incontrolada y progresiva que no tiene una función específica.^{52,75} Es una lesión que se caracteriza por ser una masa sólida, palpable, bien circunscrita, cuyo diámetro puede alcanzar varios centímetros y tiene la dimensión de profundidad. Se puede originar en cualquier tejido blando o duro, y su coloración es variable de acuerdo con el tejido superficial. Las neoplasias se clasifican en benignas, cuando el crecimiento es lento y no metastatizan; malignos, cuando su crecimiento es rápido y distorsionan e invaden estructuras adyacentes (Figura 38).^{52,66}



Figura 38. Tumor en cara dorsal de lengua, cuyo diagnóstico es compatible con el carcinoma de células escamosas.⁵²

3. De contenido líquido.

a) Vesícula. Lesión circunscrita, elevada, menor a 1 cm de diámetro, que en su interior puede contener líquido claro, seroso, hemorrágico y/o purulento (por lo que se denominan como pústulas); dependiendo de su contenido cambiará su coloración y su origen puede estar asociado a la proliferación viral.^{67,73} Se puede localizar a nivel subcórneo, intra o subepidérmico, o dérmico; las que sólo involucran la epidermis cuando desaparecen no dejan cicatriz pero las que involucran dermis dejan cicatriz.^{65,66} El recubrimiento epitelial de la vesícula, generalmente es delgado y permite ver el contenido que hay en su interior. Al romperse causan una úlcera o escara. Generalmente, son resultado de la inflamación causada por infecciones virales (Figura 39).^{52,72}

Figura 39. Vesículas por herpes simple recurrente en labio superior.⁷⁰



b) Pústula. Elevaciones pequeñas y superficiales que se localizan bajo la capa córnea o alrededor de un folículo piloso.⁶⁶ Pueden ser precedidas por una vesícula o pápula.⁵² En su interior contienen material purulento que puede ser blanco, amarillo, amarillo-verdoso o hemorrágico.^{72,73} Se forman por la acumulación de leucocitos polimorfonucleares a causa de una infección bacteriana o sobreinfección.⁷¹ En la cavidad bucal, la pústula se manifiesta como un absceso de una infección radicular o periodontal.⁷⁴

c) Ampolla. Lesión elevada, bien circunscrita de diámetro mayor a 1 cm, de contenido líquido claro, seroso o hemorrágico.⁷³ Pueden ser superficiales o profundas y se forman por pérdida de cohesión en las células epiteliales y acúmulo de líquido en la zona. Semiológicamente se clasifican en intraepiteliales y subepiteliales.⁶⁵ La superficie es lisa, en forma de domo, y se rompe con facilidad con el traumatismo más leve formando una erosión que, generalmente, resuelve sin dejar cicatriz.⁷⁶ También llamadas bulas o bullas, por su tamaño son signos de trastornos y/o enfermedades más graves como las enfermedades autoinmunes (Figura 40).⁵²



Figura 40. Ampolla en encía como manifestación clínica del liquen plano ampoloso. Lesión rara de encontrar intacta.⁵²

d) Quiste. Es una cavidad que contiene material líquido, sólido o semisólido; puede ser superficial o profunda. Se encuentra revestido de una capa epitelial, y posee una cápsula fibrosa. Dependiendo de su contenido y profundidad su color puede ser el mismo de la piel o mucosa, o bien transparentar su contenido y verse amarillo, rojo o azul.⁷² Es una lesión elevada, de forma esférica, bien circunscrita, de tamaño variable y consistencia elástica a la palpación (Figura 41).^{66,70} Se pueden localizar en la dermis, tejido subcutáneo o hueso.⁵²



Figura 41. Quiste gingival en encía en área de incisivos inferiores, es similar al quiste periodontal lateral.⁵²

➤ **Lesiones secundarias.**

1. Con pérdida de la continuidad superficial.

- a) Excoriación. Se le denomina así a la lesión que se origina a partir de un trauma, generalmente rascado, roce o arañazo, a menudo es autoinducido.⁵¹ Se caracteriza por la pérdida de la epidermis y una parte de la dermis. Puede ser lineal o punteada.^{65,73} Al igual que la erosión, resuelven sin dejar cicatriz.⁷¹
- b) Erosión. Lesión secundaria del tejido blando que es provocada por la evolución de una vesícula o ampolla (Figura 42). Se constituyen por la pérdida parcial del epitelio (techo de la vesícula o ampolla).⁶⁵ Son lesiones ligeramente deprimidas, bien delimitadas, eritematosas, con exudación, y curan sin dejar cicatriz.⁷²



Figura 42. Erosión en encía palatina como manifestación del liquen plano erosivo.⁵²

- c) Úlcera. Lesión de evolución crónica, que se caracteriza por la pérdida de la superficie epitelial dejando al descubierto el tejido conectivo. Su tamaño y profundidad varían, la zona central o fondo pueden tener un aspecto eritematoso, cubierto por una membrana blanca, grisácea o amarillenta. Los bordes pueden ser lisos, eritematosos, indurados y elevados.⁷⁵ Son lesiones dolorosas que cuando resuelven siempre dejan cicatriz, exceptuando la mucosa (Figura 43).^{66,67} De manera habitual requieren tratamiento médico, tópico o sistémico.⁵²

*Figura 43. Úlcera en el borde lateral de la lengua como manifestación de carcinoma de células escamosas. Se puede apreciar la pérdida de continuidad de la superficie epitelial.*⁶⁷



d) Fisura. Es una hendidura o surco de forma lineal en la epidermis (piel o mucosa), que puede ser una variante de lo normal o una manifestación de un proceso patológico (Figura 44). Se caracteriza por una pérdida de continuidad profunda que puede llegar hasta la dermis. Cuando se producen por procesos patológicos puede causar dolor, inflamación y/o ulceración.^{52,67}



*Figura 44. Fisuras en la cara dorsal de la lengua como manifestación de una variante de lo normal conocida como lengua fisurada.*⁷⁶

e) Fístula. Trayecto patológico congénito o adquirido que comunica una cavidad (anatómica o patológica) con el exterior.⁶⁷ Cuando la lesión es parte de un proceso patológico, generalmente, es a consecuencia de una úlcera.⁷⁶ Se caracteriza por ser un orificio por el que manan productos de una cavidad supurada hacia la epidermis (Figura 45).⁶⁵ La actinomicosis es un padecimiento que se caracteriza por la formación de diversas fístulas.⁵²

Figura 45. Fístulas que se presentan en la encía, sobre la superficie apical de los incisivos centrales no vitales. En odontología, para identificar de que diente proviene el tracto sinusal se colocan puntas de gutapercha en el trayecto y se toman radiografías.⁵²



2. Como consecuencia de procesos previos.

a) Cicatriz. Tejido conjuntivo fibroso, permanente, que surge como resultado de un proceso de reparación después de una pérdida de sustancia dérmica.⁶⁷ Las cicatrices pueden ser de cualquier forma, tamaño, y la coloración es distinta al tejido que la rodea; cuando el proceso de cicatrización deja una zona de tejido cicatrizal y es más engrosado y elevado se le conoce como cicatriz queloide.⁷⁰ En la cavidad bucal es menos frecuente, ya que los tejidos bucales tienen mayor elasticidad, y por lo tanto, menor tendencia a la formación de cicatrices que la piel; pueden ser el resultado de traumatismos intrabucales, quemaduras o cirugías, y su coloración es ligeramente más claro que el tejido adyacente (Figura 46).^{52,74}

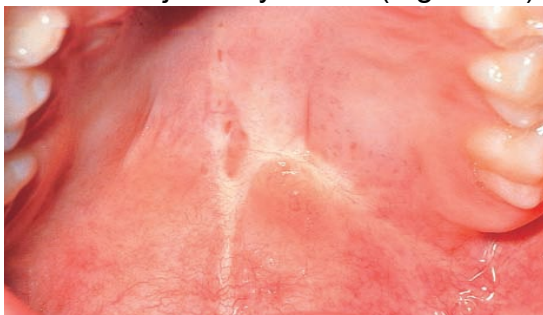


Figura 46. Cicatriz en bóveda palatina como consecuencia de un traumatismo.⁵²

b) Costra. Manifestación integrada por capas o estratos de apariencia rugosa que se producen por la desecación de secreciones (suero, sangre, exudado o restos celulares) sobre la piel. Su consistencia es semi-sólida, y pueden ser finas y friables o gruesas y firmemente adheridas a la epidermis.^{66,67,71} Su coloración puede ser: amarillo, cuando son formadas por suero; verde, por exudado purulento; y marrón, rojo o negro cuando es por sangre.⁷² En la cavidad bucal, se observan exclusivamente en el labio y bermellón (Figura 47).⁶⁵



*Figura 47. Costras en comisuras labiales a consecuencia de la resolución de lesiones vesiculares causadas por VHS-1.*⁷⁰

c) Escara. Áreas de tejido necrótico, de evolución variable, que han sufrido compactación, de coloración negruzca y que el cuerpo intenta eliminar por exfoliación. Su profundidad es variable en función del proceso que la origina (proceso infeccioso, quemadura química o térmica, presión, fricción o rozamiento).^{66,67,71} Al producirse la exfoliación del tejido dejan una úlcera, por lo que también se les conoce como úlceras por presión o decúbito; se manifiestan en la piel que recubre partes óseas, y principalmente en personas que sufren alguna limitación para cambiar de posición, por lo que permanecen mucho tiempo en una silla o cama.⁷⁷ Su resolución es lenta y si no se tratan es posible que dañen los tejidos profundos debajo de la piel como tejido adiposo, músculo o hueso; sin embargo, existen escaras que no curan y solo pueden ser controladas con fármacos para el dolor, limpieza y vendaje.^{78,79}

- d) Escama. Es una proliferación rápida de células epidérmicas, donde el estrato córneo no se forma normalmente, y las capas de la piel se ven como láminas planas o en forma de hojuela; su tamaño puede ser grande como una membrana o diminuto como polvo.^{72,73} La aparición de escamas puede deberse a: un proceso de queratinización como consecuencia de una dermatitis, la aceleración del proceso de maduración de las células y/o alteraciones del desprendimiento normal de las células epidérmicas.⁷¹
- e) Atrofia. En la piel, la atrofia se puede manifestar de dos formas: adelgazamiento de la epidermis, cuando la piel se vuelve de un color casi transparente, dejando visibles algunos vasos papilares y subpapilares; y adelgazamiento de la dermis cuando existe pérdida del tejido conjuntivo y una depresión de la lesión.⁷² En la mucosa bucal, generalmente, aparece por debido a trastornos en la irrigación del sector afectado (Figura 48).⁷⁰



Figura 48. Atrofia de las papilas linguales a consecuencia de anemia perniciosa. La lengua se observa lisa y brillante.⁵⁵

- f) Liquenificación. Se describe como una lesión secundaria posterior al rascado o roce constante que se manifiesta como una placa grande, menos definida, hiperpigmentada, de piel engrosada y con aumento del cuadrillaje. Es una manifestación típica de las dermatitis atópicas.^{71,75}

Descripción de las lesiones elementales.

Durante la exploración general de las estructuras de cabeza y cuello se deben observar la piel y las estructuras adyacentes bajo luz natural o luz artificial que se le asemeje.⁸⁰

La exploración de la piel y mucosa consiste en una adecuada inspección visual y palpación, de esta manera su descripción podrá ser lo más completa y detallada posible, describiendo las características principales de cada lesión.⁷⁶ La información básica que debe contener una descripción se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de lesiones elementales.	
Característica.	Descripción.
Tipo de lesión.	Identificar, según la clasificación de lesiones elementales si se trata de una lesión primaria o secundaria. ⁷⁵
Forma.	Se define la forma geométrica a la cual se asemeja la lesión. Redonda, ovalada, poligonal, serpiginosa, en diana, umbilicada, plana, etc. ^{72,76}
Tamaño.	La dimensión de la lesión se describe en milímetros o centímetros. En lesiones circulares, globulares u ovaladas se debe de medir el diámetro; mientras que, en las lesiones poliédricas se medirán las dimensiones del mayor al menor eje. ⁷⁶
Contorno.	Es la línea que demarca la lesión, puede ser: nítida, cuando es bien definida y su límite es visualizado con facilidad; difusa cuando no se observa con precisión y no se puede definir con claridad el límite de la lesión. ⁷⁶
Borde.	Describe la integridad de la línea del contorno, los bordes pueden ser: regulares, cuando la línea es uniforme e, irregular cuando presenta discontinuidad. Además, se puede describir su consistencia como blando o indurado. ⁷⁶

Tabla 1. Descripción de las lesiones elementales. Información que debe incluirse para describir de manera adecuada cualquier tipo de lesión. (Elaboración propia)

Tabla 1. Descripción de lesiones elementales. (Continuación)	
Característica.	Descripción.
Color.	El cambio de tonalidad en la piel y mucosa que puede deberse a un aumento o pérdida de pigmentación por causas endógenas (sistémicas o locales) y/o exógenas. ⁸⁰ Se debe describir si el color principal de la lesión es uniforme o abigarrado. ⁷²
Profundidad.	Las lesiones pueden ser planas, al nivel de la piel o mucosa; elevadas por arriba del límite de la piel o mucosa; y deprimidas cuando es por debajo de la piel o mucosa donde se origina. ⁷⁶
Superficie.	Para su descripción se debe observar la integridad o ruptura superficial y determinar, si es brillante u opaca, y en caso de ruptura la profundidad. ⁷⁶
Textura.	Puede ser lisa, rugosa o áspera y se determina a través de la sensibilidad táctil. ⁷⁶
Consistencia.	A través de la palpación y la percusión se puede indicar la consistencia de la lesión, determinando eventualmente su contenido (líquido, sólido o semi sólido), si es blanda, firme, dura o fluctuante. ⁷²
Base.	Se determina la inserción de la lesión, es sésil cuando el área de inserción es mayor o igual a la parte más ancha de la lesión; o pediculada, cuando la lesión tiene un área de inserción menor que el ecuador de la lesión. ⁷⁶
Número.	Se enumeran considerando las lesiones semejantes en la misma zona, así pueden ser únicas o múltiples. ⁷⁶

Tabla 1. Descripción de las lesiones elementales. Información que debe incluirse para describir de manera adecuada cualquier tipo de lesión. (Elaboración propia)

Tabla 1. Descripción de lesiones elementales. (Continuación)	
Característica.	Descripción.
Localización.	Se describe la región anatómica donde se manifiesta la lesión, dando como referencia puntos anatómicos específicos para localizarla con exactitud, así como, las regiones anatómicas que delimitan la lesión. ⁷⁶
Disposición.	Cuando son lesiones múltiples pueden estar agrupadas (herpetiformes, arciformes, anulares, reticulares, lineales, serpiginosas); o diseminadas (independientes, discretas, dispersas). ⁷²
Distribución.	Se debe de considerar la extensión, si son aisladas, localizadas, regionales, generalizadas; y su patrón, si son simétricas o al azar. ⁷²

Tabla 1. Descripción de las lesiones elementales. Información que debe incluirse para describir de manera adecuada cualquier tipo de lesión. (Elaboración propia)

Capítulo V. Impresión y biomodelos 3D como método de enseñanza.

El empleo de tecnologías de información y comunicación (TIC), han cambiado la forma de pensar y la manera de aprender, trabajar y relacionarse de la sociedad. Este cambio ha traído como consecuencia una transformación en cada una de sus esferas, incluida la educación. Por este motivo es que las escuelas, universidades e institutos de han visto obligados a modificar y replantear sus procesos formativos.⁸¹

Las primeras escuelas que modificaron sus procesos formativos son las escuelas de diseño, arquitectura e ingeniería. En estas escuelas, hoy en día, es más común la creación digital y física de modelos 3D como estrategia de aprendizaje. Algunos institutos y universidades equipan sus aulas con impresoras 3D de código abierto de bajo precio como las *RepRap*, *Printrbot* o *FoldRap* para que sean equipos costeables y de fácil acceso para el estudiantado.³³

Específicamente, en la enseñanza del área médica, los recursos son limitados y han prevalecido como medios didácticos, las representaciones bidimensionales o 2D de los libros. Estas imágenes, en ocasiones no son de buena calidad y limitan mucho la visualización e interpretación por parte del estudiantado, generando dudas y una menor retención y sistematización del conocimiento. La incorporación de la tecnología 3D en el proceso de enseñanza ha sido espontáneo y asistemático, como resultado de la necesidad del docente y del alumno de obtener un material didáctico que puedan manipular, ya sea física o digitalmente.⁸²

La creación de biomodelos digitales 3D ofrece un sin número de posibilidades, tanto a los/las estudiantes como a los/las docentes, ya que permiten un análisis minucioso de estructuras anatómicas y lesiones al poder magnificar, rotar y descomponer el biomodelo 3D, complementando dicho análisis con la lectura de contenido adicional al combinarlos con otras aplicaciones. Además, del diseño de los biomodelos digitales 3D se pueden obtener biomodelos 3D tangibles que pueden complementar el análisis de las estructuras anatómicas y mejorar la retención del conocimiento en los/las estudiantes.⁸¹

La posibilidad de fabricar biomodelos con materiales sintéticos de diferentes colores, texturas y consistencias permiten alcanzar un mayor nivel de comprensión y ubicación espacial de las diferentes estructuras anatómicas que conforman el cuerpo humano, razón por la que se considera a los biomodelos 3D como un valioso instrumento de enseñanza.⁸²

Además, con la compilación de los archivos de los biomodelos digitales 3D se favorece la creación de colecciones en bibliotecas virtuales que ponen a disposición de las personas interesadas, sobre todo profesionales del área de la salud, estos archivos para su visualización y enriquecimiento cultural. Con el impulso de la interconectividad que ofrece internet es posible la colaboración de distintas universidades e instituciones para incrementar el intercambio académico de material 3D, y así ampliar la variedad biomodelos anatómicos, ya sea para su consulta o su posible impresión.⁸¹

De esta manera, los biomodelos 3D han revolucionado la docencia teórica ya que los biomodelos 3D digitales y físicos permiten que los estudiantes se capaciten adecuadamente durante su formación, y mediante la manipulación del archivo digital se pueden añadir diferentes escenarios y así evaluar situaciones patológicas y compararlas con la anatomía normal para aprender, identificar y comprender mejor los cambios que surgen en el desarrollo de las enfermedades.^{81,82}

Los biomodelos 3D, no sólo ayudan en la enseñanza de estructuras y lesiones anatómicas de interés, sino que pueden ser utilizados en las fases preoperatorias para mejorar la destreza quirúrgica de los/las cirujanos, y servir como herramienta, durante la elaboración de la historia clínica y diagnóstico, para explicar al paciente el tipo de patología que tiene y el tratamiento a seguir. Estos usos de los biomodelos han servido para hacer más eficientes e incrementar el éxito de las intervenciones quirúrgicas, así como mejorar la satisfacción del paciente y aumentar la confianza en el personal médico.⁸³

Conclusiones.

Después de la recopilación bibliográfica realizada, se puede concluir que efectivamente los biomodelos 3D son recursos que pueden ser incorporados al proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias médicas ya que mejoran los niveles de motivación de los estudiantes, así como su capacidad retentiva y de comprensión.

Antes de implementar esta tecnología como método de enseñanza, se debe de considerar una serie de requerimientos necesarios como son: el equipo, computadores con softwares de diseño y modelado 3D e impresoras 3D; la destreza de los/las docentes para la creación y diseño de los biomodelos, así como su capacidad pedagógica para saber cómo incorporar estos recursos en el proceso de enseñanza de los diversos temas del curso; y los recursos tecnológicos del estudiantado para acceder y consultar los archivos digitales de los biomodelos 3D.

Para hacer una evaluación objetiva de la impresión y los biomodelos 3D se deben de analizar minuciosamente sus limitaciones. Una de las principales limitaciones es el costo de los softwares de diseño y de las impresoras 3D. Sin embargo, esta limitación puede ser sobrellevada con el uso de softwares de libre acceso, dejando como única problemática la adquisición, por parte de las universidades e instituciones, de las computadoras para elaborar los diseños 3D y las impresoras 3D que fabricarán los biomodelos.

Otra limitación importante de la impresión 3D, en la actualidad, es la incapacidad de imprimir en materiales que imiten las propiedades biomecánicas de los tejidos. A medida que la impresión 3D se actualice y amplíe la gama de materiales para impresión, los futuros biomodelos podrán imprimirse con mayor apego a la anatomía, y se reforzarán como una herramienta para la enseñanza en el área de la salud.

Considerando esta última limitante de las impresoras 3D, se concluye que, si bien los biomodelos 3D físicos serían de gran ayuda para la correcta identificación de las lesiones elementales de cabeza y cuello, la falta de materiales de impresión que asemejen la textura y consistencia de las lesiones elementales dificultará su

aprendizaje entorpeciendo su identificación, por lo que actualmente, no serían el método ideal de enseñanza. Sin embargo, se puede crear una biblioteca digital mediante el diseño de biomodelos 3D digitales de cada una de las lesiones elementales, y complementar su aprendizaje con la creación de biomodelos 3D a partir de la adquisición de imágenes obtenidas de TC's o RM's de pacientes que manifiesten este tipo de lesiones en cabeza y cuello.

De concretarse el proyecto de creación de la biblioteca digital, los biomodelos 3D digitales, serían el método de enseñanza ideal para complementar el conocimiento teórico de los estudiantes y así, mejorar su capacidad para identificar las características clínicas de cada una de las lesiones elementales. En este punto, se debe de considerar que las imágenes obtenidas de los pacientes deberán ser tratadas con la mayor responsabilidad ética posible y cuidar que los datos personales de los pacientes no sean divulgados. Para la identificación de los biomodelos 3D creados, sólo se deberán de ocupar los datos generales del paciente, así como los datos evolutivos de la lesión para obtener un diagnóstico presuntivo y su posible pronóstico.

Referencias bibliográficas.

1. López S, Bologna R, Mariaud R, Zamora A, Fuentes M. Estudio retrospectivo de lesiones en cavidad bucal en el adulto mayor. Rev. Venez. Invest. Odont. IADR. 2013;1(1):37-46.
2. Martínez Rangel J, Harris Ricardo J, Fortich Mesa N, Plazas Román J. Prevalencia de lesiones orales en niños y su distribución en la cavidad bucal. Ciencia y Salud Virtual. 2014;6(2):92-98.
3. Chandroth S, Venugopal H, Puthenveetil S, Jayaram A, Mathews J, Suresh N et al. Prevalence of oral mucosal lesions among fishermen of Kutch coast, Gujarat, India. International Maritime Health. 2014;65(4):192-198.
4. Gheno J, Martins M, Munerato M, Hugo F, Sant´ana Filho M, Weissheimer C et al. Oral mucosal lesions and their association with sociodemographic, behavioral, and health status factors. Brazilian Oral Research. 2015;29(1):1-6.
5. Padrón C, Bravo M. Competencias TIC para la gestión del conocimiento: Un aporte desde el modelo TPACK. Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 20. 2014;18(3):49-73.
6. Saorín J, Meier C, De la Torre-Cantero J, Carbonell-Carrera C, Melián-Díaz D, Bonnet de León A. Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D. EDMETIC. 2017;6(2):27-45.
7. Mantrana G, Jacobo O, Hartwing D, Giachero V. Modelos de impresión tridimensional en la planificación preoperatoria y en la enseñanza académica de las fracturas mandibulares. Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana. 2018;44(2):193-201.
8. La impresión 3D. Un invento del pasado, muy presente, pero con mucho futuro. [Internet]. ABANCA innova. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://abancainnova.com/opinion/la-impresion-3d-un-invento-del-pasado-muy-presente-pero-con-mucho-futuro/>
9. Greguric L. Historia de la impresión 3D: fechas clave [Internet]. All3DP. 2020 [cited October 2021]. Available from: <https://all3dp.com/es/2/impresion-3d-historia-fechas-clave/>

10. Historia de la Impresión 3D - Impresión 3D [Internet]. Sites.google.com. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://sites.google.com/site/impresion3domar/historia-de-la-impresion-3d>
11. Guía completa: Sinterizado selectivo por láser o SLS, te explicamos todo! - 3Dnatives [Internet]. 3Dnatives. 2019 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-selectivo-por-laser-les-explicamos-todo/#!>
12. 3D Systems se afianza en el mercado de los prototipos rápidos [Internet]. Interempresas. 2001 [cited October 2021]. Available from: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1501-3D-Systems-se-afianza-en-el-mercado-de-los-prototipos-rapidos.html>
13. Sánchez Restrepo S. FDM o modelado por deposición fundida, te explicamos todo! - 3Dnatives [Internet]. 3Dnatives. 2017 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/#!>
14. Las impresoras 3D Stratasys [Internet]. 3Dnatives. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/3D-compare/stratasys/>
15. HSU M. 3D printer used to manufacture firearms [Internet]. The Johns Hopkins News-Letter. 2012 [cited October 2021]. Available from: <https://www.jhunewsletter.com/article/2012/11/3d-printer-used-to-manufacture-firearms-80613>
16. Guía completa: Binder Jetting o Inyección Aglutinante, te lo contamos todo! - 3Dnatives [Internet]. 3Dnatives. 2019 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/inyeccion-aglutinante-te-lo-contamos-23032016/>
17. Z Corporation to be Acquired by 3D Systems | 3D Systems [Internet]. 3D Systems. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dsystems.com/press-releases/z-corporation-be-acquired-3d-systems>
18. La historia de la impresora 3D: los orígenes de las primeras máquinas [Internet]. Abax Innovation Technologies. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://abax3dtech.com/2020/07/24/historia-de-la-impresora-3d/>

19. Breve Historia de la impresión 3D - impresoras3d.com [Internet]. impresoras3d.com. 2018 [cited October 2021]. Available from: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
20. Darwin, la impresora 3D autorreplicante - Impresoras 3D [Internet]. Imprimalia 3D. 2013 [cited October 2021]. Available from: <http://imprimalia3d.com/noticias/2013/09/28/00131/darwin-la-impresora-3d-autorreplante>
21. Shapeways, el futuro de la impresión 3D | Experimenta [Internet]. Experimenta.es. 2014 [cited 9 October 2021]. Available from: <https://www.experimenta.es/noticias/industrial/shapeways-impresion-3d-4366/>
22. HISTORIA - MUNDO 3D [Internet]. Sites.google.com. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://sites.google.com/site/mundo3dkevinn2p/historia>
23. Las impresoras 3D de Makerbot [Internet]. 3Dnatives. 2021 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/3D-compare/makerbot>
24. Casilda A. Diseñador de órganos, el futuro de la medicina [Internet]. Expansión.com. 2017 [cited October 2021]. Available from: <https://www.expansion.com/emprendedores-empleo/empleo/2017/03/23/58d41b5446163f7b538b45e7.html>
25. Villalba M. Impresora 3D Organovo, hacia el sueño de crear órganos para trasplantes [Internet]. DiarioAbierto. 2012 [cited October 2021]. Available from: <https://www.diarioabierto.es/73395/impresora-3d-organovo-hacia-el-sueno-de-crear-organos-para-trasplantes>
26. Avión impreso en 3D lanzado con éxito [Internet]. RT en Español. 2011 [cited October 2021]. Available from: <https://actualidad.rt.com/ciencias/view/30535-Avi%C3%B3n-impreso-en-3D-lanzado-con-%C3%A9xito>
27. Conozca a Urbee, el carro que nació de una impresora 3D - BBC News Mundo [Internet]. BBC News Mundo. 2011 [cited October 2021]. Available from: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110922_tecnologia_automovil_3d_mundo
28. Primer implante de una prótesis fabricada con una impresora 3D [Internet]. RT en Español. 2012 [cited October 2021]. Available from:

<https://actualidad.rt.com/ciencias/view/38830-Primer-implante-de-una-pr%C3%B3tesis-fabricada-con-una-impresora-3D>

29. Mujer de 83 años recibe el primer implante de mandíbula con una impresora 3D [Internet]. Hipertextual. 2012 [cited October 2021]. Available from: <https://hipertextual.com/2012/02/mujer-de-83-anos-recibe-el-primer-implante-de-mandibula-con-una-impresora-3d>

30. Rivero E. WREX: La ortesis impresa [Internet]. unocero. 2012 [cited October 2021]. Available from: <https://www.unocero.com/noticias/wrex-la-protesis-impresa/>

31. Nemours | Stratasy [Internet]. Stratasy. 2021 [cited December 2021]. Available from: <https://www.stratasy.com/mx/resources/search/case-studies/nemours>

32. La impresión 3D en los hospitales españoles - 3Dnatives [Internet]. 3Dnatives. 2018 [cited October 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-en-los-hospitales-020820182/#!>

33. Berchon M, Luyt B. La impresión 3D. Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general. [Internet]. 2nd ed. Editorial Gustavo Gil; 2014 [cited December 2021]. Available from: <https://es.scribd.com/read/317029644/La-impresion-3D-Guia-definitiva-para-makers-disenadores-estudiantes-profesionales-artistas-y-manitas-en-general>

34. López R. Impresión 3D y sus aplicaciones en Medicina. [Internet]. Universidad Nacional de Cuyo: Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM; 2018. Available from: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/13174/17-ciencia-tecnologia-e-innovacion-lopez-roberto-unt.pdf

35. Gómez Aranda C. Bioimpresoras 3D como herramienta de innovación en el futuro de trasplantes de órganos. RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática. 2016;5(10).

36. Gando S, Labarca G, Majid A, Folch E, Mehta H, Jantz M et al. Aplicaciones de la impresión 3D en la vía aérea central. Revista médica de Chile. 2019;147(10):1315-1322.

37. César-Juárez Á, Olivos-Meza A, Landa Solís C, Cárdenas-Soria V, Silva-Bermúdez P, Suárez Ahedo C et al. Uso y aplicación de la tecnología de impresión

y bioimpresión en medicina. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM. 2018;61(6):43-51.

38. Kim G, Lee S, Kim H, Yang D, Kim Y, Kyung Y et al. Three-Dimensional Printing: Basic Principles and Applications in Medicine and Radiology [Internet]. 2016 [cited December 2021]. Available from: <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2016.17.2.182>

39. Ponce RV. Impresoras 3D: Marco teórico, modelos de desarrollo y campos de aplicación [Internet]. [Facultad de Bellas Artes de Cuenca]: Universidad de Castilla La Mancha; 2016. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10578/10513>

40. Riveiro Tomás ML. Impresión 3d o el mundo de la producción a disposición del consumidor [Internet]. [Facultad de Arquitectura]: Universidad de la República (Uruguay); 2015. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12008/8315C>

41. Impresoras 3D de Procesamiento digital de luz (DLP) - ComprarImpresoras-3D.com! [Internet]. ComprarImpresoras-3D.com!. 2021 [cited December 2021]. Available from: <https://comprarimpresoras-3d.com/tipo/dlp/>

42. Bordignon F, Iglesias A, Hahn Á. Diseño e impresión 3D: una guía de apoyo a escuelas. [Internet]. 1st ed. Buenos Aires, Argentina: UNIPE: Editorial Universitaria; 2018 [cited December 2021]. Available from: <https://editorial.unipe.edu.ar/colecciones/herramientas/dise%C3%B1o-e-impresi%C3%B3n-de-objetos-3d-una-gu%C3%ADa-de-apoyo-a-escuelas-detail>

43. Impresoras 3D de Fabricación mediante laminado de objetos (LOM) - ComprarImpresoras-3D.com! [Internet]. ComprarImpresoras-3D.com!. 2021 [cited December 2021]. Available from: <https://comprarimpresoras-3d.com/tipo/lom/>

44. Sánchez Restrepo S. Materiales cerámicos y orgánicos - 3Dnatives [Internet]. 3Dnatives. 2016 [cited December 2021]. Available from: <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-materiales-de-la-impresion-3d-ceramicos-y-organicos-22072015/>

45. Nobile N. Biblioteca Digital 3D de Huesos Humanos. Universidad Nacional de Córdoba; 2016.

46. Andrés-Cano P, Calvo-Haro J, Fillat-Gomà F, Andrés-Cano I, Perez-Mañanes R. Papel del cirujano ortopédico y traumatólogo en la impresión 3D:

aplicaciones actuales y aspectos legales para una medicina personalizada. Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología. 2021;65(2):138-151.

47. Impresoras 3D: que son, como funcionan y cual es su precio [Internet]. IngenieriaElectronica.org. 2021 [cited December 2021]. Available from: <https://ingenieriaelectronica.org/impresoras-3d-que-son-como-funcionan-y-cual-es-su-precio/>

48. Díaz del Castillo Rodríguez F. Impresión 3D, una introducción. [Internet]. Departamento de ingeniería. Laboratorio de tecnología de materiales.: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; 2018 p. 1-83. Available from: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf

49. Gamarra Rosado V, da Silva F. Propuesta de biomodelado virtual 3D utilizando software libre. Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación. 2014;1(2):51-70.

50. Jiménez Calzado M, Porrás Galán J, Domínguez I, Romero L, Espinosa M. La fabricación aditiva: la evidencia de una necesidad. Interempresas. 2013;(1047):64-82.

51. Kumar V, Abbas A, Aster J. Robbins y Cotran: Patología estructural y funcional. 9th ed. Barcelona: Elsevier; 2015, pp. 31-60,1160.

52. Langlais R, Miller C, Niedld Gehrig J, Mérigo Jané J. Atlas a color de enfermedades bucales. 4th ed. México: Manual Moderno; 2011, pp. 17-25.

53. Ennis I, Yeves A. Capítulo 62. Fisiopatología de la hipertrofia cardíaca: Hipertrofia cardíaca fisiológica y patológica. In: Gómez Llambí H, Piskorz D, ed. by. Hipertensión arterial: epidemiología, fisiología, fisiopatología, diagnóstico y terapéutica [Internet]. Buenos Aires, Argentina: inter-Médica; 2013 [cited November 2021]. p. 304-309. Available from: <https://www.saha.org.ar/pdf/libro/Cap.062.pdf>

54. Oberti, Pablo F., ¿Hipertrofia patológica o fisiológica? Contribución de la evaluación de aspectos estructurales y funcionales miocárdicos por medio de la caracterización y el Doppler tisular. Revista Argentina de Cardiología [Internet]. 2005;73(2):83-85. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305323887001>

55. Leyva Huerta E, Gaitán Cepeda L. Patología general e inmunología. 1st ed. México: Trillas; 2008, pp. 68-87.
56. Rubin E, Reisner H, Strayer D. Principios de patología. 7th ed. Barcelona: Wolters Kluwer Health; 2019, pp. 3-53.
57. Baynes J, Dominiczak M. Bioquímica médica. 5th ed. Barcelona: Elsevier; 2019.
58. Kumar V, Abbas A, Aster J. Robbins. Patología Humana. 10th ed. Barcelona: Elsevier; 2018, pp. 31-56.
59. Mohan H. Patología. 6th ed. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 21-60.
60. Pérez-Machado J, Lie-Concepción A. Apoptosis, mecanismo de acción. Medimay [Internet]. 2012 [citado Nov 2021]; 18 (2):[aprox. 15 p.]. Disponible en: <http://revcmhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/572>
61. Sosa R, Brandan N, Jeréz J. Apoptosis. Catedra de Bioquímica UNNE. 2012:2-6. Available from: <https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/Carrera-Medicina/BIOQUIMICA/apoptosis.pdf>
62. Peña-Sanoja MJ, De Sanctis JB. Autofagia y respuesta inmunitaria. Invest. Clín. [Internet]. 2013;54(3):325-337. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0535-51332013000300009&lng=es.
63. Almaguer-Mederos LE, Almaguer-Gotay D, Cuello-Almarales D, et al. Autofagia en enfermedades poliglutamínicas: Roles e implicaciones terapéuticas. Rev Mex Neuroci. 2016;17(1):76-90.
64. García de Lorenzo y Mateos A, Martínez de la Gándara A, González Castro A. Autofagia y metabolismo en el paciente críticamente enfermo. Nutrición Clínica Médica. 2020;XIV(2):97-105.
65. Lanza Martino L, Pérez Caffarena M. Lesiones elementales de la mucosa bucal. Guía para el diagnóstico clínico de patologías de la mucosa bucal. Actas Odontológicas. 2015;XII(1):14-20.

66. Sánchez Umaña I, Quesada González A, Cedeño Quesada M. Lesiones elementales en Dermatología. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*. 2010;LXVII(594):3458-348.
67. Gaitán Cepeda LA, Quezada Rivera D. *Medicina y Patología Bucal*. Editorial Trillas, México, 2015. pp. 15-19.
68. Cardili R, Roselino A. Elementary lesions in dermatological semiology: literature review. *An Bras Dermatol*. 2016;91(5):629-633.
69. Vázquez-López F, Coto P, Gotor M, Gómez-Díaz S, Pérez-Oliva N. Semiología cutánea: perspectiva histórica de la evolución de la terminología básica en España. *Actas Dermo-Sifiliográficas*. 2006;97(3):153-158.
70. Ceccotti E, Sforza R, Carzoglio J, Luberti R, Flichman J. *El Diagnóstico en Clínica Estomatológica*. 1st ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2007, pp. 635-640.
71. Padrón Cahcón R. *Propedéutica clínica y fisiopatología odontológica fundamental*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2008, pp. 87-94.
72. Wolff K, Johnson R, Suurmond D. Fitzpatrick. *Atlas en color y sinopsis de dermatología clínica*. 5th ed. Madrid: Mc Graw Hill Interamericana; 2005, pp. XXV-XXXII.
73. Nast A, Griffiths C, Hay R, Sterry W, Bologna J. Glosario revisado de la Liga Internacional de Sociedades Dermatológicas para la descripción de las lesiones cutáneas. *British Journal of Dermatology*; 2016. p. 1-12.
74. Langlais R, Miller C. *Color atlas of common oral diseases*. Philadelphia: Lea and Febiger; 1992, pp. 2-5.
75. De la rosa García E, Anaya Saavedra G, Godoy Rivera L. *Manual para la detección de alteraciones de la mucosa bucal potencialmente malignas*. México: Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades; 2009 p. 10-11.
76. Boraks S. *Diagnóstico bucal*. São Paulo: Artes Médicas^ 2004. pp. 87-93.
77. Úlceras de decúbito (úlceras por presión) - Síntomas y causas - Mayo Clinic [Internet]. Mayoclinic.org. 2021 [cited November 2021]. Available from:

<https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/bed-sores/symptoms-causes/syc-20355893>

78. Diccionario de cáncer del NCI [Internet]. Instituto Nacional del Cáncer. 2021 [cited November 2021]. Available from:

<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/buscar/escara/?searchMode=Begins>

79. Úlceras de decúbito (úlceras por presión) - Diagnóstico y tratamiento - Mayo Clinic [Internet]. Mayoclinic.org. 2021 [cited November 2021]. Available from:

<https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/bed-sores/diagnosis-treatment/drc-20355899>

80. Bickley L, Hoekelman R. Bates. Propedeutica medica. 7th ed. México: McGraw-Hill Interamericana; 1999, pp. 149-151.

81. Izquierdo Pardo J, Pardo Gómez M, Izquierdo Lao J. Modelos digitales 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias médicas. MEDISAN. 2020;24(5):1035-1048.

82. Delgado V, Fernández S, Chaile S, Robledo H, Massano G, Alday A et al. Biomodelo para la docencia de grado y postgrado en Pediatría. Rev ADACO. 2014;11(3):17-20.

83. Valverde I. Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural. Revista Española de Cardiología. 2017;70(4):282-291.