South American Publishing

SAP Dentistry. 2026; 4:177
doi: 10.62486/dent2026177

ORIGINAL

Implementation of a Mini Maker Lab for the Creation of 3D-Printed Open Educational Resources in Dentistry

Implementación de un Mini Laboratorio Maker para la Generación de Recursos Educativos Abiertos Impresos 3D en Odontología

José Antonio Jerónimo Montes[1] ✉, Juan Ignacio Cruz Ramírez[1], Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre[1], Amparo García González[1], Juan Carlos Del Razo Becerril[1]

[1]Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Mexico.

Cite as
Jerónimo Montes JA, Cruz Ramírez JI, Mejía Pelcastre GA, García González A, Razo Becerril JCD. Implementation of a Mini Maker Lab for the Creation of 3D-Printed Open Educational Resources in Dentistry. SAP Dentistry. 2026; 4:177. https://doi.org/10.62486/dent2026177

Publication History
Submitted: 14-01-2026
Revised: 10-03-2026
Accepted: 06-05-2026
Published: 07-05-2026

Corresponding Author
José Antonio Jerónimo Montes ✉

ABSTRACT

This article reports the design, implementation, and preliminary evaluation of a 3D-printing maker mini-laboratory at the Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza) of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), aimed at generating Open Educational Resources in 3D format (OER 3D) from computed tomography images of real patients. The proposal is grounded in Maker Pedagogy, Design Thinking, and the UNESCO Open Educational Movement. Three-dimensional biomodels generated by processing DICOM files using segmentation software (3D Slicer, Blue Sky Plan) and printed with FDM and SLA technologies were incorporated into active-learning activities with first- and third-year dental students. Results show a perceptible improvement in understanding stomatognathic system anatomy, bidimensional-to-tridimensional image correlation, integration of basic sciences with clinical practice, and the development of collaborative skills. The maker laboratory is positioned as a catalyst for pedagogical innovation with replicable potential across health-science higher education institutions.

Keywords: 3D Printing; Maker Laboratory; Open Educational Resources; Computed Tomography; Dentistry; Dental Anatomy; Comprehensive Diagnosis; Emergent Pedagogy; FES Zaragoza; UNAM.

RESUMEN

El presente artículo reporta el diseño, implementación y evaluación preliminar de un mini laboratorio maker de impresión 3D en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), orientado a la generación de Recursos Educativos Abiertos 3D (REA 3D) a partir de imágenes tomográficas de pacientes reales. La propuesta se fundamenta en la Pedagogía Maker, el Design Thinking y el Movimiento Educativo Abierto promovido por la UNESCO. Los biomodelos tridimensionales generados mediante el procesamiento de archivos DICOM con software de segmentación (3D Slicer, Blue Sky Plan) e impresos con tecnologías FDM y SLA, se incorporaron a actividades de aprendizaje activo con estudiantes de primer y tercer año de la licenciatura en Cirugía Dentista. Los resultados muestran una mejora perceptible en la comprensión de la anatomía del sistema estomatognático, la correlación imagenológica bidimensional-tridimensional, la integración de las ciencias básicas con la práctica clínica, y el desarrollo de habilidades colaborativas. El laboratorio maker se posiciona como un catalizador de innovación pedagógica con potencial replicable en instituciones de educación superior en ciencias de la salud.

Palabras clave: Impresión 3D; Laboratorio Maker; Recursos Educativos Abiertos; Tomografía Computarizada; Odontología; Anatomía Dental; Diagnóstico Integral; Pedagogía Emergente; FES Zaragoza; UNAM.

© 2026; The Authors. This Open access article is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCCIÓN

La formación del cirujano dentista ha dependido históricamente de una secuencia pedagógica que separa las ciencias básicas de la práctica clínica, generando una brecha persistente entre el conocimiento teórico —anatomía, histología, patología— y su aplicación en el diagnóstico y la planeación de tratamientos. Esta brecha se agudiza cuando los estudiantes, entrenados con modelos estandarizados y radiografías convencionales bidimensionales, se enfrentan en la práctica clínica a pacientes con patologías reales, variaciones anatómicas y complejidades imagenológicas que ningún libro de texto puede reproducir fielmente.[1,2]

La Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT, por sus siglas en inglés) ha transformado el diagnóstico y la planeación de tratamientos en odontología al ofrecer una reconstrucción volumétrica tridimensional del complejo cráneo-facial, revolucionando campos como la cirugía oral y maxilofacial, la endodoncia —para la localización de conductos accesorios y aberraciones anatómicas—, la periodoncia —para la valoración de densidades óseas— y la implantología. Sin embargo, su potencial didáctico permanece subutilizado en la mayoría de los planes de estudio.[3,4]

En este contexto, la impresión tridimensional emerge como una tecnología de alto potencial pedagógico. La transformación de datos DICOM provenientes de tomografías en biomodelos físicos impresos permite trasladar la complejidad tridimensional del campo operatorio a un objeto manipulable, tangible y replicable. Estudios recientes documentan que los biomodelos 3D generados a partir de casos clínicos reales mejoran significativamente la comprensión anatómica, la preparación para procedimientos clínicos y la motivación intrínseca de los estudiantes en comparación con métodos exclusivamente convencionales.[5,6,7,8]

El movimiento maker, entendido como una filosofía pedagógica centrada en el aprendizaje a través del diseño, la construcción y la modificación iterativa de artefactos, ofrece el marco cultural e institucional idóneo para articular estas tecnologías con procesos formativos sistemáticos (Antes et al., 2020). La creación de un mini laboratorio maker en una facultad de odontología no implica únicamente la instalación de impresoras 3D: supone la construcción de una comunidad de práctica donde estudiantes, pasantes y docentes co-crean recursos educativos contextualizados con valor diagnóstico real, distribuidos como Recursos Educativos Abiertos (REA) con licencias Creative Commons, en consonancia con el Movimiento Educativo Abierto promovido por la UNESCO.[9]

El presente artículo da cuenta del diseño, implementación y evaluación preliminar de un mini laboratorio maker de impresión 3D en la FES Zaragoza de la UNAM, en el marco del proyectos PAPIME PE202124, con el objetivo de reportar su impacto en la integración de las ciencias básicas con el aprendizaje clínico, la mejora del diagnóstico imagenológico y la planeación de tratamientos en estudiantes de odontología.

Objetivo del estudio

Reportar el diseño, implementación y resultados de aprendizaje derivados de la operación de un mini laboratorio maker de impresión 3D en la FES Zaragoza-UNAM, evaluando su impacto en la comprensión anatómica, la correlación imagenológica, la integración básico-clínica y el desarrollo de habilidades colaborativas en estudiantes de la licenciatura en Cirugía Dentista.

Marco Teórico

La brecha básico-clínica en odontología

La formación odontológica se organiza, en la mayoría de las instituciones latinoamericanas, en dos grandes bloques temporalmente separados: las ciencias básicas (anatomía, fisiología, histología, patología) y las asignaturas clínicas. Esta segmentación genera un problema estructural: los estudiantes cursan la anatomía dental sin comprender su relevancia diagnóstica, y cuando llegan a la clínica, carecen de las representaciones mentales tridimensionales necesarias para interpretar imágenes radiográficas y tomográficas.[10]

La dificultad de visualizar estructuras anatómicas tridimensionales a partir de representaciones bidimensionales —como radiografías convencionales— constituye uno de los principales obstáculos en la formación del diagnóstico imagenológico. Los estudiantes de primer año se enfrentan a la tarea de identificar estructuras superpuestas, discriminar tonalidades de densidad tisular y reconocer hallazgos normales de patológicos, sin haber desarrollado aún el esquema cognitivo espacial que demanda dicha tarea.[11] Los biomodelos 3D, al ofrecer una representación volumétrica manipulable del mismo caso que aparece en la imagen radiográfica, actúan como puente cognitivo entre ambas representaciones.

Movimiento Maker y pedagogía emergente

El movimiento maker constituye una filosofía pedagógica centrada en el aprendizaje mediante el diseño y la fabricación de artefactos tangibles o digitales. Sus principios —creación, iteración, intercambio, autonomía e interdisciplina— son congruentes con las demandas formativas del siglo XXI: pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad y trabajo colaborativo. En el ámbito educativo, los espacios destinados a esta práctica se denominan entornos o laboratorios maker, y su implementación institucional ha demostrado potenciar la motivación intrínseca, la autoeficacia y el aprendizaje profundo de los estudiantes.[12,13]

La pedagogía emergente, definida como el conjunto de enfoques pedagógicos que emergen en torno al uso de tecnologías de la información y la comunicación en educación, encuentra en el movimiento maker una de sus expresiones más concretas. De acuerdo con Lira et al.[14], las acciones pedagógicas emergentes generan aprendizajes que coexisten paralelamente a las prácticas prescriptivas institucionales, respondiendo de manera adaptativa a necesidades formativas reales. En el contexto post pandemia COVID-19, la pedagogía maker se presenta como una respuesta especialmente pertinente a la necesidad de reconstruir entornos de aprendizaje colaborativo presencial que aprovechen simultáneamente las competencias digitales desarrolladas durante la educación remota de emergencia.

Recursos Educativos Abiertos 3D y el Movimiento Educativo Abierto

La UNESCO define los Recursos Educativos Abiertos (REA) como materiales de enseñanza, aprendizaje e investigación de libre acceso, publicados con licencias que permiten su utilización, adaptación y distribución.[9] En el ámbito de las ciencias de la salud, los REA en formato 3D —biomodelos impresos o archivos STL de descarga libre— representan una categoría emergente con alto potencial de democratización del conocimiento clínico, especialmente en contextos de inequidad socioeducativa donde el acceso a modelos anatómicos comerciales es limitado.[15]

El licenciamiento Creative Commons (CC) constituye el marco jurídico que hace posible la distribución de los REA 3D. Las licencias CC definen los permisos de uso, adaptación y redistribución de los materiales, con distintas combinaciones de atributos: atribución (BY), uso no comercial (NC), sin obras derivadas (ND) y compartir igual (SA). Para los biomodelos generados en el proyecto, se propone la licencia CC BY-NC-SA, que permite el uso educativo libre con atribución, sin fines comerciales y conservando la misma licencia en las adaptaciones. Los archivos STL se distribuyen a través de repositorios institucionales y plataformas como Thingiverse o el NIH 3D Print Exchange.[16,17]

Affordances cognitivas de los biomodelos 3D

El concepto de affordance, introducido por Gibson[18] en la psicología ecológica, designa las posibilidades de acción que un objeto o entorno ofrece a un sujeto. Trasladado al diseño educativo, las affordances cognitivas remiten a las posibilidades que un artefacto didáctico ofrece al aprendiz para pensar, conocer y operar sobre el objeto de aprendizaje. Los biomodelos 3D poseen affordances específicas que los distinguen cualitativamente de las representaciones convencionales: la posibilidad de rotación en cualquier eje, la fragmentación para explorar estructuras internas, la comparación directa con la imagen radiográfica original, y la manipulación háptica que activa el aprendizaje perceptivo-motor.[19]

Desde la perspectiva de la Teoría de la Actividad, los biomodelos actúan como herramientas de mediación que transforman la relación del sujeto con el objeto de aprendizaje. La apropiación de estos artefactos no es automática ni homogénea —está condicionada por factores cognitivos, motivacionales y socioculturales—, lo que demanda estrategias pedagógicas diferenciadas que acompañen los distintos niveles de apropiación tecnológica.[20]

Tomografía Computarizada como fuente de datos para REA 3D

La Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) genera imágenes en formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) que constituyen la materia prima para la generación de biomodelos 3D educativos. El proceso de transformación DICOM-STL involucra etapas de segmentación —identificación y aislamiento de las estructuras anatómicas de interés— y modelado tridimensional mediante algoritmos computacionales. Software como 3D Slicer, Blue Sky Plan o Materialise Mimics permite la segmentación manual, semiautomática o asistida por inteligencia artificial de las estructuras deseadas, exportando el resultado en formato STL (estereolitografía), que constituye el estándar para la impresión 3D.[21] Esta cadena de procesamiento, denominada pipeline REA 3D, puede diseñarse como un proceso completamente abierto cuando se utiliza software de código libre y se distribuyen los archivos resultantes con licencias CC.

MÉTODO

Tipo y diseño del estudio

Investigación educativa de tipo descriptivo-exploratorio con enfoque mixto, enmarcada en la metodología de investigación-acción. Se inscribe en el proyecto PAPIME P8202124 titulado “Aprendizaje Mediado por Recursos Digitales Abiertos 3D y la Integración de los Conocimientos de las áreas básicas con el área clínica”desarrollado en la FES Zaragoza, UNAM. La dimensión cuantitativa involucra el registro de indicadores de producción del laboratorio maker y datos de formularios de percepción estudiantil con escala Likert; la dimensión cualitativa se apoya en observación participante, entrevistas abiertas y análisis de diario de campo.

Participantes

Figura 1. Alumnos del tercer año licenciatura Cirujano Dentista con biomodelo

Participaron estudiantes de primer y tercer año de la licenciatura en Cirugía Dentista de la FES Zaragoza, UNAM, en grupos de 25 a 40 personas, con edades entre 18 y 24 años, inscritos en módulos de anatomía dental (primer año) y medicina y patología estomatológica (tercer año), respectivamente. Los pasantes de servicio social actuaron como mediadores entre docentes y estudiantes, facilitando la operación del laboratorio y la implementación de las actividades pedagógicas.

Diseño del mini laboratorio maker

Equipamiento

El laboratorio maker se configuró con el siguiente equipamiento mínimo viable:

- Impresoras 3D de tecnología FDM (Deposición de Material Fundido): equipos de tecnología accesible con filamento PLA, que permiten producir biomodelos con resolución de capa de 0,2 mm a bajo costo por unidad. Patentadas por Scott Crump en 1989, estas impresoras operan mediante cinco componentes esenciales: placa de impresión, bobina de filamento, extrusor, sistema de movimiento y cabezal de impresión. El filamento PLA, polímero termoplástico biodegradable, fue seleccionado por su bajo nivel de toxicidad y adecuado manejo en espacios educativos cerrados.[22]
- Impresoras 3D de tecnología SLA/MSLA (Estereolitografía): equipos de mayor resolución y detalle, empleados para la producción de biomodelos con alta fidelidad morfológica. Utilizan resina fotopolimérica estándar y resina flexible, curadas por luz UV. Indicadas para estructuras anatómicas de alta complejidad y detalle fino.[22]
- Computadoras con hardware suficiente para el procesamiento de volúmenes tomográficos (mínimo 16 GB RAM, GPU dedicada para visualización en tiempo real).
- Escáner de impresión 3D de sobremesa para digitalización de modelos físicos preexistentes.

Figura 2. Impresora 3D en mni laboratorio maker

Software del pipeline REA 3D

Tabla 1. Software utilizado en el pipeline REA 3D del mini laboratorio maker

Software	Función principal	Compatibilidad	Costo
3D Slicer	Segmentación y visualización de imágenes DICOM (axial, coronal, sagital); reconstrucción 3D en tiempo real	Win / Mac / Linux	Gratuito
Blue Sky Plan	Segmentación y modelado 3D orientado a odontología; exportación STL	Win / Mac	Licencia académica
Meshmixer	Reparación, redimensionamiento y optimización de mallas STL	Win / Mac	Gratuito
Blender	Modelado avanzado, animación y renderizado 3D de código abierto	Win / Mac / Linux	Gratuito
UltiMaker Cura	Laminado (slicing) y preparación de archivos para impresión FDM; amplia compatibilidad con impresoras	Win / Mac / Linux	Gratuito
PrusaSlicer	Laminado para FDM y SLA; código abierto; compatible con múltiples marcas	Win / Mac / Linux	Gratuito

Pipeline REA 3D: del DICOM al biomodelo impreso

El flujo de trabajo para la generación de biomodelos REA 3D sigue cinco etapas secuenciales:

1. Adquisición de datos tomográficos: se obtienen archivos DICOM de tomografías CBCT de pacientes reales con patologías de interés docente (caries avanzada, bolsas periodontales, restos radiculares, dientes incluidos, lesiones periapicales, quistes). Todos los pacientes firmaron consentimiento informado que explicita el uso educativo de sus estudios, garantizando el anonimato mediante eliminación de metadatos identificadores conforme a la normativa de protección de datos.[23]
2. Segmentación y modelado 3D: con 3D Slicer y Blue Sky Plan se identifican y aislan las estructuras de interés (maxilares, hemimandíbulas, dientes individuales, nervio dentario inferior, seno maxilar) mediante segmentación semiautomática por umbralización de densidad Hounsfield y corrección manual. El modelo resultante se exporta en formato STL.[21]
3. Reparación y optimización de la malla: con Meshmixer se reparan imperfecciones de la malla STL, se ajusta la escala del modelo y se optimiza el número de polígonos para reducir el tiempo de impresión sin sacrificar detalle diagnóstico relevante.
4. Laminado y preparación para impresión: en UltiMaker Cura o PrusaSlicer se definen los parámetros de impresión: resolución de capa (0,15-0,2 mm FDM; 0,05 mm SLA), porcentaje de relleno (15-20 %), generación de soportes y orientación óptima del modelo. El archivo G-code resultante se transfiere a la impresora.
5. Post-procesado y catalogación: incluye retiro de soportes, limpieza, lijado y, en modelos SLA, curado con luz UV. Cada biomodelo se etiqueta con código QR que enlaza a la imagen DICOM digital original, historia clínica anonimizada y ficha didáctica, configurando así un REA híbrido físico-digital. Los archivos STL se publican bajo licencia CC BY-NC-SA en el repositorio institucional.

Figura 3. Flujo de trabajo para generación de biomodelos 3D

Marco pedagógico: Design Thinking y Comunidad Maker

Las actividades de aprendizaje se diseñaron siguiendo el modelo de Design Thinking de seis etapas: comprender, definir, idear, prototipar, probar y refinar. En la etapa de empatía (comprender), los docentes y pasantes entrevistaron a los estudiantes para identificar sus dificultades en la interpretación de imágenes tomográficas y su comprensión de la anatomía del sistema estomatognático. En la etapa de definición, los grupos elaboraron fichas informativas con imágenes radiográficas y descripciones de patologías frecuentes, construyendo su propio material de referencia. Las etapas de ideación y prototipado involucraron la participación de estudiantes avanzados en la generación de nuevos biomodelos, bajo supervisión docente y con apoyo de pasantes. La etapa de prueba consistió en la implementación de las actividades con los grupos de primer y tercer año, y la etapa de refinamiento incorporó las observaciones de los participantes para mejorar los diseños pedagógicos en ciclos sucesivos.

Figura 4. Proceso de prototipado, metodología Design Thinking

La Comunidad Maker se construyó en tres etapas progresivas: (a) etapa exploratoria, en que los estudiantes interactuaron con biomodelos ya elaborados para identificar estructuras y patologías; (b) etapa participativa, en que grupos de estudiantes avanzados aprendieron el manejo del software de segmentación y participaron en la generación de nuevos modelos; y (c) etapa productiva, en que los participantes diseñaron y produjeron REA 3D propios, incorporados al repositorio institucional.

Instrumentos de recolección de datos

Se aplicaron los siguientes instrumentos: (a) observación participante registrada en diario de campo durante las sesiones de aprendizaje con biomodelos; (b) entrevistas abiertas individuales y grupales al concluir cada actividad; (c) formularios en línea con escala Likert (1-5) sobre motivación, comprensión anatómica y percepción del valor clínico de los biomodelos; y (d) registro de producción del laboratorio maker: número de biomodelos generados, diversidad de patologías representadas y disponibilidad en repositorio.

RESULTADOS

Producción del laboratorio maker

A lo largo del período de implementación, el mini laboratorio maker generó una biblioteca inicial de biomodelos 3D que incluye: mandíbula con terceros molares incluidos y relación con el nervio dentario inferior; maxilar superior con quiste periapical asociado a órgano dental con tratamiento endodóntico previo; cráneo parcial con fosa infratemporal para la enseñanza de la articulación temporomandibular (ATM); hemimandíbula con bolsa periodontal de clasificación III; y sector anterior superior con resto radicular y perforación de la membrana del seno maxilar. Todos los archivos STL, junto con las imágenes DICOM anonimizadas y fichas didácticas, se encuentran disponibles en el mini laboratorio maker institucional bajo licencia CC BY-NC-SA.

El costo promedio por biomodelo impreso en FDM con filamento PLA resultó significativamente inferior al de modelos anatómicos comerciales equivalentes, lo que confirma la viabilidad económica del laboratorio maker como estrategia de democratización de recursos didácticos de calidad diagnóstica.

Figura 5. Biomodelo de cráneo obtenido con datos de tomografía

Impacto en la comprensión anatómica y la correlación imagenológica

Los resultados de los formularios de percepción y las observaciones de campo documentan mejoras consistentes en tres dimensiones cognitivas. En primer lugar, los estudiantes que interactuaron con los biomodelos mostraron mayor capacidad para localizar estructuras anatómicas relevantes —como el trayecto del nervio dentario inferior, los límites del seno maxilar y la morfología del cóndilo mandibular— en comparación con el análisis exclusivo de imágenes radiográficas convencionales. En segundo lugar, se registró una notable mejora en la correlación bidimensional-tridimensional: los estudiantes lograron comparar directamente la imagen tomográfica en pantalla con el biomodelo físico, desarrollando gradualmente el esquema cognitivo espacial necesario para el diagnóstico imagenológico. En tercer lugar, emergió en varios casos una conciencia metacognitiva expresada en términos como «me di cuenta de que debo conocer bien la anatomía, me falta aprenderla mejor», fenómeno documentado también por un estudio como uno de los efectos pedagógicos más valiosos de los biomodelos 3D.

Un hallazgo de particular relevancia diagnóstica fue la identificación, a través del biomodelo físico impreso, de una perforación de la membrana del seno maxilar que no era visible en la imagen tomográfica digital. Este descubrimiento, con implicaciones terapéuticas directas en un contexto clínico real, constituye evidencia objetiva del valor añadido de los biomodelos físicos sobre las representaciones digitales exclusivamente.

Integración de las ciencias básicas con el aprendizaje clínico

Las actividades con biomodelos 3D funcionaron como articuladores curriculares entre los módulos de ciencias básicas y los escenarios clínicos. Los estudiantes de primer año que trabajaron con el modelo de articulación temporomandibular reportaron una comprensión significativamente más profunda de la relación cóndilo-fosa-disco articular que la obtenida mediante ilustraciones de libros de texto. En los grupos de tercer año, los biomodelos de casos quirúrgicos (terceros molares incluidos, quistes) fueron utilizados

para planificar abordajes de cirugía oral con mayor detalle anatómico: los estudiantes midieron distancias entre el ápice del diente incluido y el nervio dentario, identificaron la proximidad del seno maxilar y anticiparon posibles complicaciones intraoperatorias, desarrollando así habilidades de planeación de tratamientos que normalmente solo se adquieren en la práctica clínica avanzada.

Desarrollo de habilidades colaborativas y la Comunidad Maker

La dinámica de "aprendizaje de alumnos para alumnos", facilitada por la participación de estudiantes avanzados y pasantes de servicio social en la operación del laboratorio, generó redes de apoyo entre semestres que contribuyeron a la reconstrucción del tejido social académico. Los pasantes, por su condición de recién egresados y su cercanía generacional con los estudiantes, actuaron como mediadores pedagógicos eficaces, aportando conocimientos frescos y una disposición empática que favoreció la participación activa. Los testimonios recogidos son consistentemente positivos: "¿Cuándo va a subir la aplicación al aula virtual para seguir practicando?"; "¿Podemos tener modelos de todas las patologías del plan de estudios?"; "Ver la lesión en el modelo me ayudó a entender lo que leo en el libro".

Figura 6. Actividad conjunta pasantes de servicio social y alumnos 3er año

El trabajo en equipo en torno a los biomodelos promovió el diagnóstico diferencial colaborativo: los estudiantes comparaban sus observaciones, argumentaban sobre las posibles patologías presentes y construían colectivamente una interpretación diagnóstica que ninguno hubiera alcanzado de manera individual. Este proceso es coherente con el principio conectivista de que el aprendizaje ocurre en las conexiones entre nodos de información y con la perspectiva vygotskiana de la zona de desarrollo próximo activada por la interacción con pares más expertos.

Percepción de los participantes

Tabla 2. Percepción de los participantes sobre las actividades con biomodelos 3D (escala Likert 1-5; n = 78)

Indicador	Media	Observaciones
Motivación durante la actividad	4,7	Alta implicación afectiva
Comprensión de estructuras anatómicas	4,5	Superior al libro de texto
Utilidad para la planificación de tratamientos	4,6	Relevante en 3.er año
Correlación imagen 2D-biomodelo 3D	4,4	Requiere práctica adicional
Calidad del trabajo colaborativo en equipo	4,6	Favorece diagnóstico diferencial
Valoración global de la experiencia	4,8	Solicitan continuidad

Nota: datos obtenidos mediante formulario en línea aplicado al concluir las sesiones de trabajo con biomodelos. La escala varía de 1 (muy bajo) a 5 (muy alto).

DISCUSIÓN

El laboratorio maker como catalizador de integración curricular

Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que el mini laboratorio maker de impresión 3D puede operar como un catalizador de la integración curricular entre las ciencias básicas y la práctica clínica odontológica. La manipulación de biomodelos generados a partir de casos clínicos reales sitúa al estudiante en un continuo entre el conocimiento anatómico abstracto y la realidad diagnóstica concreta, activando procesos de transferencia que raramente se logran con metodologías convencionales.[8,11] Este hallazgo es coherente con la perspectiva del aprendizaje encarnado (embodied cognition), que postula que el conocimiento se construye también a través del cuerpo y la manipulación de artefactos físicos, y no solo a través del lenguaje o la representación abstracta.[19]

En términos curriculares, el laboratorio maker tiene el potencial de articularse con múltiples módulos del plan de estudios: desde

la anatomía en primer año hasta la cirugía bucal, endodoncia e implantología en semestres avanzados. La ampliación progresiva de la biblioteca de biomodelos —conforme a la diversidad de patologías del programa de estudios— puede convertir el laboratorio en un recurso transversal con impacto en toda la formación odontológica. Esta perspectiva es consistente con las recomendaciones de Seifert et al.[2] y Hu et al.[7], quienes documentan la superioridad de los modelos impresos sobre los modelos comerciales estandarizados para el entrenamiento en procedimientos quirúrgicos específicos.

Affordances diagnósticas de los biomodelos: más allá de la enseñanza

Un resultado de especial trascendencia fue la identificación de la perforación de la membrana del seno maxilar exclusivamente a través del biomodelo físico.[24,25,26]

Este hallazgo sugiere que las affordances de los biomodelos 3D no se limitan al ámbito pedagógico, sino que pueden tener implicaciones diagnósticas directas incluso para los propios clínicos tratantes.

En el contexto de la odontología contemporánea, donde la planificación quirúrgica asistida por modelos 3D es ya una práctica establecida en cirugía maxilofacial e implantología,[3] el laboratorio maker universitario puede convertirse en un nodo de articulación entre la investigación clínica y la formación de grado, democratizando el acceso a recursos que en otros contextos son exclusivos de centros de alta especialidad.

El rol pedagógico de los pasantes: mediadores generacionales del conocimiento

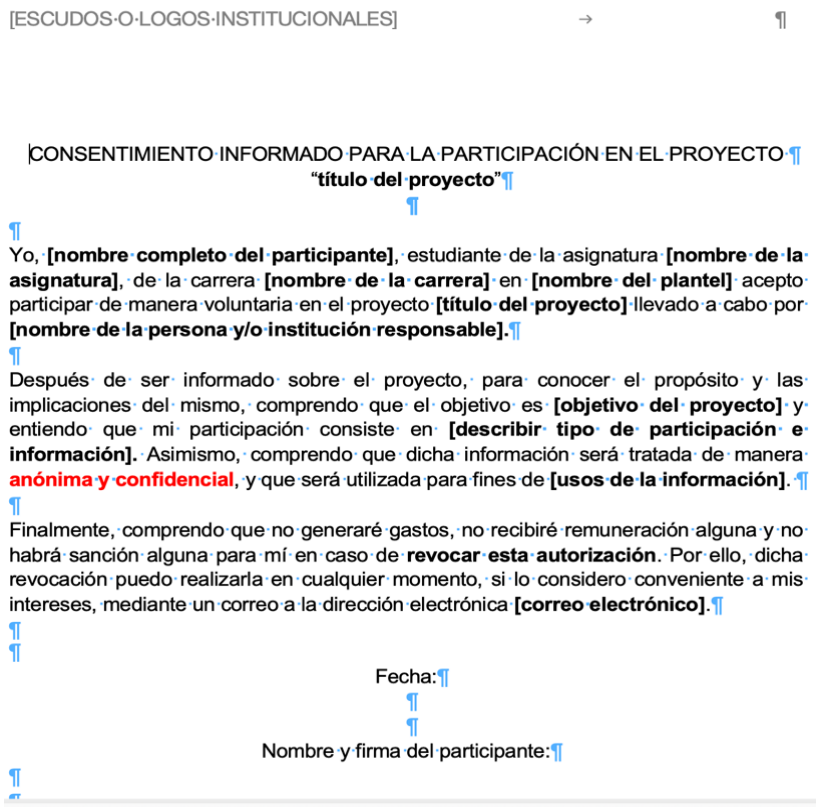
La participación de pasantes de servicio social como mediadores pedagógicos emergió como un elemento diferencial de la propuesta.[27,28] Su posición liminal —recién egresados, con conocimientos actualizados y cercanos generacionalmente a los estudiantes— les permitió actuar como interlocutores más accesibles que los docentes titulares en la transmisión de conocimientos técnicos sobre el manejo del software y las impresoras.

Esta función de mediación es coherente con la teoría vygotskiana de la zona de desarrollo próximo: los pasantes representan un nivel de competencia ligeramente superior al de los estudiantes, lo que maximiza la eficacia del andamiaje pedagógico. Este hallazgo tiene implicaciones para el diseño de programas de servicio social en las facultades de salud, que podrían incorporar explícitamente roles de facilitación maker.[29,30]

Figura 7. Participantes docentes y pasantes de servicio social

Consideraciones éticas y legales

El uso de datos tomográficos de pacientes reales como materia prima para los REA 3D exige un protocolo ético riguroso que garantice el respeto a la autonomía, la privacidad y la dignidad de los participantes. El consentimiento informado debe explicitar con claridad el uso educativo de los datos, las medidas de anonimización empleadas y los canales de distribución de los recursos generados. La anonimización debe ser robusta: implica la eliminación de todos los metadatos identificadores del archivo DICOM —nombre, fecha de nacimiento, número de expediente, datos del equipo de adquisición— hasta garantizar que ninguna reidentificación sea razonablemente posible, conforme a las regulaciones del RGPD y normativas nacionales equivalentes.[23,24]



[ESCUDOS·O·LOGOS·INSTITUCIONALES] → ¶

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO ¶
"título del proyecto"¶
¶
¶
Yo, **[nombre completo del participante]**, estudiante de la asignatura **[nombre de la asignatura]**, de la carrera **[nombre de la carrera]** en **[nombre del plantel]** acepto participar de manera voluntaria en el proyecto **[título del proyecto]** llevado a cabo por **[nombre de la persona y/o institución responsable]**.¶
¶
Después de ser informado sobre el proyecto, para conocer el propósito y las implicaciones del mismo, comprendo que el objetivo es **[objetivo del proyecto]** y entiendo que mi participación consiste en **[describir tipo de participación e información]**. Asimismo, comprendo que dicha información será tratada de manera **anónima y confidencial**, y que será utilizada para fines de **[usos de la información]**. ¶
¶
Finalmente, comprendo que no generaré gastos, no recibiré remuneración alguna y no habrá sanción alguna para mí en caso de **revocar esta autorización**. Por ello, dicha revocación puedo realizarla en cualquier momento, si lo considero conveniente a mis intereses, mediante un correo a la dirección electrónica **[correo electrónico]**.¶
¶
¶
Fecha:¶
¶
¶
Nombre y firma del participante:¶
¶

Figura 8. Ejemplo de documento Consentimiento Informado. Proyecto de investigación educativa

Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del presente estudio son: (a) el tamaño reducido de los grupos participantes y el carácter predominantemente cualitativo y exploratorio de los instrumentos de evaluación, que limita la robustez empírica de las conclusiones; (b) la ausencia de grupos de control que permitan comparar los resultados con metodologías convencionales en condiciones experimentales controladas; (c) los tiempos de producción de biomodelos de calidad diagnóstica, incompatibles con la dinámica habitual de los horarios docentes; y (d) la dependencia de financiamiento institucional externo para el mantenimiento del equipamiento y la adquisición de materiales consumibles. Estas limitaciones señalan la agenda de investigación futura del proyecto.[31,32]

CONCLUSIONES

La implementación de un mini laboratorio maker de impresión 3D en la FES Zaragoza-UNAM demuestra ser una estrategia pedagógica con fundamentación teórica sólida, factibilidad técnica y económica demostrada, y resultados educativos prometedores para la formación odontológica en el contexto post pandemia COVID-19.

Los biomodelos 3D generados a partir de tomografías computarizadas de pacientes reales constituyen recursos didácticos que superan cualitativamente a las representaciones convencionales bidimensionales y a los modelos anatómicos comerciales estandarizados, al combinar fidelidad clínica, tangibilidad, manipulabilidad y valor diagnóstico real. Su integración en actividades de Design Thinking y Comunidad Maker potencia la motivación, la colaboración, la integración de conocimientos básico-clínicos y la capacidad de planificación de tratamientos de los estudiantes.

La distribución de los biomodelos como REA bajo licencias Creative Commons se inscribe en el horizonte ético del Movimiento Educativo Abierto: democratizar el acceso a recursos de calidad diagnóstica para instituciones con recursos limitados, contribuyendo a la reducción de las brechas de inequidad en la educación superior en ciencias de la salud en México y América Latina.

Se recomienda a las instituciones de educación superior odontológica considerar la creación de laboratorios maker con equipamiento mínimo viable (una impresora de filamento PLA, computadoras con software libre y una impresora convencional para las fichas didácticas), incorporando al servicio social de pasantes como motor humano del proyecto y articulando su operación con los objetivos curriculares de múltiples módulos del plan de estudios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, proyecto PAPIME P8202124 titulado "Aprendizaje Mediado por Recursos Digitales Abiertos 3D y la Integración de los Conocimientos de las áreas básicas con el área clínica", así como a los estudiantes, pasantes de servicio social y docentes de la FES Zaragoza que participaron en el proyecto. Se agradece especialmente a los pacientes que donaron sus estudios tomográficos con fines educativos.

FINANCIACIÓN

Este trabajo fue apoyado por el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE202124).

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguna.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: José Antonio Jerónimo Montes, Juan Ignacio Cruz Ramírez, Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre, Amparo García González, Juan Carlos Del Razo Becerril**.**

Curación de datos: José Antonio Jerónimo Montes, Juan Ignacio Cruz Ramírez, Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre, Amparo García González, Juan Carlos Del Razo Becerril**.**

Análisis formal: José Antonio Jerónimo Montes, Juan Ignacio Cruz Ramírez, Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre, Amparo García González, Juan Carlos Del Razo Becerril**.**

Redacción – borrador original: José Antonio Jerónimo Montes, Juan Ignacio Cruz Ramírez, Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre, Amparo García González, Juan Carlos Del Razo Becerril**.**

Redacción – revisión y edición: José Antonio Jerónimo Montes, Juan Ignacio Cruz Ramírez, Gustavo Alfonso Mejía Pelcastre, Amparo García González, Juan Carlos Del Razo Becerril**.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jerónimo Montes JA. Recursos Educativos Abiertos, retos y oportunidades en tiempos de pandemia. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM; 2023.

2. Seifert LB, Schnurr B, Herrera-Vizcaino C, Begic A, Thieringer F, Schwarz F, et al. 3D-printed patient-individualised models vs cadaveric models in an undergraduate oral and maxillofacial surgery curriculum: Comparison of students' perceptions. European Journal of Dental Education. 2020;24(4):799-806. https://doi.org/10.1111/eje.12522

3. Rivera-Gonzaga JA, Zamarripa-Calderón JE, Ancona-Meza AL, Grazioli G, Cuevas-Suárez CE. La tecnología de impresión 3D utilizada en odontología, educación y salud. Boletín Científico del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2021;9(18):196-198.

4. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: A review. Journal of Endodontics. 2006;32(7):601-623. https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.12.014

5. Fayyaz Y, Ali M, Ullah R, Shaikh MS. Applications of 3D-printed teeth in dental education: A narrative review. Journal of Taibah University Medical Sciences. 2024;19(4):816-822. https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2024.07.005

6. Richter M, Peter T, Rüttermann S, Sader R, Seifert LB. 3D printed versus commercial models in undergraduate conservative dentistry training. European Journal of Dental Education. 2022;26(3):643-651. https://doi.org/10.1111/eje.12742

7. Hu L, Rong R, Song W, Wu H, Jia S, He Z, et al. Patient-specific 3D printed models for enhanced learning of immediate implant procedures and provisionalization. European Journal of Dental Education. 2023;27(3):765-772. https://doi.org/10.1111/eje.12928

8. Duan M, Lv S, Fan B, Tang Z, Su X, Li J, et al. Effect of 3D printed teeth and virtual simulation system on the pre-clinical access cavity preparation training of senior dental undergraduates. BMC Medical Education. 2024;24:913. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05869-2

9. UNESCO. Proyecto de recomendación sobre los Recursos Educativos Abiertos (REA). UNESCO Publishing; 2019.

10. Jerónimo Montes JA, Mejía Pelcastre GA, et al. Biomodelos 3D y Recursos Educativos Abiertos en la enseñanza odontológica: Aportes al aprendizaje clínico. Manuscrito en revisión. 2025a.

11. Petre AE, Pantea M, Drafta S, Imre M, Parvu S, Dumitrascu CI, et al. Modular digital and 3D-printed dental models with applicability in dental education. Medicina. 2023;59(1):116. https://doi.org/10.3390/medicina59010116

12. Chen X. 3D printing in dental education: A systematic review. Journal of Dental Education. 2019;83(9):1052-1065. https://doi.org/10.21815/JDE.019.100

13. Antes R, Duarte Medina VC, Zanella Santos M. Maker education in health sciences: Collaborative fabrication for clinical learning. Journal of Medical Education & Curricular Development. 2020;7:1-9.

14. Lira J, Uribe C. Pedagogía emergente: Fundamentos y prácticas innovadoras. Editorial Académica Española; 2022.

15. Torres Velandia SÁ, Jerónimo Montes JA. Recursos educativos abiertos, retos y oportunidades en tiempos de pandemia: Estudio de caso, México. RECIE Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa. 2021;5(2):199-214. https://doi.org/10.33010/recie.v5i2.1439

16. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons. 2012;55(2):155-162. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003

17. National Institutes of Health. NIH 3D Print Exchange. National Library of Medicine; 2025. https://3d.nih.gov/

18. Gibson JJ. The ecological approach to visual perception. Lawrence Erlbaum; 1986.

19. Forés Miravalles A, Subias Vallecillo E. ¿Qué nos dice la neuroeducación acerca de las pedagogías emergentes? En: Forés Miravalles A, Subias Vallecillo E, editores. Pedagogías emergentes: 14 preguntas para el debate. Octaedro; 2018. p. 70-82.

20. Crovi Druetta D. Repensar la apropiación desde la cultura digital. En: Crovi Druetta D, editor. Nuevas perspectivas en los estudios de comunicación: La apropiación tecno-mediática. Imago Mundi; 2013. p. 11-23.

21. Kamio T, Suzuki M, Asaumi R, Kawai T. DICOM segmentation and STL creation for 3D printing: A process and software package comparison for osseous anatomy. 3D Printing in Medicine. 2020;6:17. https://doi.org/10.1186/s41205-020-00069-2

22. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KTQ, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Composites Part B: Engineering. 2018;143:172-196. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012

23. Jiménez Romero ZG, Ortega Sánchez J. El rol del médico en la protección de la privacidad del paciente: Estrategias para una práctica ética en un mundo digital. Cirugía y Columna. 2024;2(2):126-130. https://doi.org/10.35366/11586

24. Ibarra-González JO, Vargas-Parada L, Orozco-Zepeda H. Consentimiento informado: Una praxis dialógica para la investigación. Gaceta Médica de México. 2009;145(6):511-519.

25. Vygotsky LS. El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Grijalbo; 1979.

26. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age. International Journal of Instructional Technology and Distance Learning. 2005;2(1):3-10.

27. Thomas D, Seely Brown J. A new culture of learning: Cultivating the imagination for a world of constant change. CreateSpace Independent Publishing Platform; 2011.

28. García Aretio L. COVID-19 y educación a distancia digital: Preconfinamiento, confinamiento y posconfinamiento. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia. 2021;24(1):9-32. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.28080

29. Engeström Y. Learning by expanding: An activity theoretical approach to developmental research. Orienta-Konsultit; 1987.

30. Clark Vendt K, Freymann J, Kirby J, Tarbox L, Prior F, Smith K, et al. The Cancer Imaging Archive (TCIA): Maintaining and operating a public information repository. Journal of Digital Imaging. 2013;26(6):1045-1057. https://doi.org/10.1007/s10278-013-9622-7

31. Aparicio-Gómez OY, Ostos-Ortiz OL. Pedagogías emergentes en ambientes virtuales de aprendizaje. Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa. 2020;1(1):11-36. https://doi.org/10.51660/ripie.v1i1.25

32. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. International Endodontic Journal. 2018;51(9):1005-1018. https://doi.org/10.1111/iej.12917