Tipo de artículo: Artículo original

Aplicación de la nanotecnología para la innovación en prevención, diagnóstico y tratamiento odontológico

Application of nanotechnology for innovation in dental prevention, diagnosis and treatment

Alexis Fernando Chango Quinga [1*], https://orcid.org/0009-0002-7653-2460
Brandon Andrés Coello Tipan [1], https://orcid.org/0009-0002-5912-0974
Valentina Daniela Paredes Jaramillo [1], https://orcid.org/0009-0003-0986-215X

[1] Universidad Autónoma de los Andes, Ambato, Ecuador.

*Autor para la correspondencia. alexiscq80@uniandes.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar la aplicación de la nanotecnología en los procesos de prevención, diagnóstico y tratamiento en odontología, destacando sus beneficios clínicos y su potencial transformador. A través de una revisión técnica y una intervención educativa, se profundizó en el uso de nanomateriales antibacteriales para la prevención de caries, en sistemas de diagnóstico precoz mediante nanosensores, y en tratamientos como la anestesia sin agujas con nanoesferas y la implantología avanzada con superficies nanoestructuradas. La intervención se implementó como estudio de caso con 35 estudiantes de la Educación Superior durante un ciclo académico de 12 semanas, mediante seminarios prácticos y simulaciones clínicas guiadas por expertos. El impacto del aprendizaje y la asimilación de los contenidos se evaluó mediante una prueba pre y post-intervención, validada con el test estadístico ANOVA de medidas

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

repetidas, que mostró diferencias significativas en el desempeño de los estudiantes ($p < 0.05$). Los resultados evidenciaron un incremento sustancial en el conocimiento técnico y clínico sobre nanotecnología odontológica. Se concluye que la nanotecnología representa una herramienta clave para transformar la práctica odontológica en términos de eficacia, precisión y confort del paciente. Sin embargo, se recomienda una mayor inversión en la formación continua del personal de salud bucal para garantizar una implementación segura y ética de estas tecnologías emergentes.

Palabras clave: nanotecnología, odontología, diagnóstico, tratamiento, educación superior.

ABSTRACT

This research aims to analyze the application of nanotechnology in prevention, diagnosis, and treatment processes in dentistry, highlighting its clinical benefits and transformative potential. Through a technical review and an educational intervention, the study delved into the use of antibacterial nanomaterials for caries prevention, early diagnosis systems using nanosensors, and treatments such as needle-free anesthesia with nanospheres and advanced implantology with nanostructured surfaces. The intervention was implemented as a case study with 35 higher education students during a 12-week academic cycle, through practical seminars and clinical simulations guided by experts. The impact of learning and content assimilation was assessed using a pre- and post-intervention test, validated with the repeated measures ANOVA statistical test, which showed significant differences in student performance ($p < 0.05$). The results demonstrated a substantial increase in technical and clinical knowledge about dental nanotechnology. It is concluded that nanotechnology represents a key tool for transforming dental practice in terms of efficacy, precision, and patient comfort. However, greater investment in the ongoing training of oral health care professionals is recommended to ensure the safe and ethical implementation of these emerging technologies.

Keywords: nanotechnology, dentistry, diagnosis, treatment, higher education.

Recibido: 16/02/2025
Aceptado: 23/05/2025
En línea: 01/07/2025

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Introducción

La nanotecnología, entendida como el conjunto de técnicas que operan a escala nanométrica (1-100 nm), ha emergido como un campo de alto impacto en múltiples disciplinas, y la odontología no ha sido la excepción. En este contexto, la nanotecnología ha permitido avances disruptivos que incluyen desde materiales con propiedades antibacterianas para la prevención de enfermedades orales, hasta sistemas diagnósticos con nanosensores capaces de detectar biomarcadores en etapas tempranas, y tratamientos innovadores como la anestesia sin agujas mediante nanoesferas o la implantología avanzada con superficies modificadas a escala nanométrica para mejorar la osteointegración (Abiodun-Solanke et al., 2014).

Estos desarrollos no solo potencian la precisión clínica, sino que también incrementan el confort del paciente, reducen la invasividad de los procedimientos y mejoran los tiempos de recuperación. Por ejemplo, los nanocompuestos aplicados en restauraciones dentales presentan mayor resistencia mecánica y propiedades antimicrobianas que sus equivalentes convencionales (Dipalma et al., 2024). Así mismo, el uso de nanopartículas en recubrimientos de implantes ha demostrado ser efectivo para evitar la colonización bacteriana y promover la regeneración ósea (Anil et al., 2011).

No obstante, pese al enorme potencial de esta tecnología, su integración en la práctica odontológica enfrenta importantes desafíos, especialmente en contextos de países en desarrollo como Ecuador (Guacho et al., 2022). Entre los principales obstáculos se encuentran la limitada infraestructura tecnológica, la escasa inversión en innovación biomédica, la ausencia de políticas públicas que fomenten la capacitación especializada y, sobre todo, la falta de formación sistemática en nanotecnología dentro de los programas de educación superior en odontología (González-Campos et al., 2024).

La mayoría de las instituciones formativas de salud bucodental en Latinoamérica aún se centran en modelos tradicionales de enseñanza, sin incorporar de manera efectiva los avances científicos emergentes (Llerena & Velastegui, 2024; Sánchez & Sánchez, 2024). Este desfase entre el avance global del conocimiento y la realidad local genera una brecha preocupante entre la formación académica y las necesidades clínicas contemporáneas, afectando la capacidad de respuesta de los futuros profesionales ante los retos de una odontología mínimamente invasiva, personalizada y tecnológicamente asistida (Ibarra et al., 2024).

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

En este marco, surge la necesidad de proponer nuevas estrategias pedagógicas que, sin depender directamente de la adquisición de tecnología nanotecnológica de alto costo, permitan formar a los estudiantes en sus principios, aplicaciones y potencial transformador. Una alternativa viable y pedagógicamente efectiva consiste en el uso de tecnologías de simulación, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), que ofrecen entornos inmersivos y altamente interactivos para el entrenamiento clínico y técnico (Al-Saud et al., 2017). Estas herramientas permiten superar las limitaciones físicas del entorno académico, favoreciendo la comprensión de conceptos complejos mediante experiencias cercanas a la realidad profesional.

Por tanto, la presente investigación constituye una propuesta original que diseña, implementa y evalúa una metodología educativa para capacitar a estudiantes de odontología en las aplicaciones clínicas de la nanotecnología. Esta metodología se desarrolla en un entorno de RV y RA, y se implementa durante un ciclo académico de 12 semanas a través de seminarios prácticos, actividades gamificadas y simulaciones clínicas guiadas por expertos.

Previo a la intervención se realizará un diagnóstico formativo que permita evidenciar las carencias en conocimientos y habilidades sobre nanotecnología en los participantes. Asimismo, se aplicarán pruebas de evaluación (pre-test y post-test) con el fin de medir la efectividad del programa de capacitación, cuyos resultados serán analizados mediante el test ANOVA de medidas repetidas. Este enfoque permitirá determinar el impacto real del proceso educativo en términos de adquisición de conocimientos, habilidades técnicas y percepción clínica de la nanotecnología en contextos de atención odontológica.

Aunque esta investigación se realiza en contextos con recursos limitados, es posible formar profesionales de la salud bucal en tecnologías de frontera mediante el diseño e implementación de metodologías pedagógicas innovadoras, pertinentes y éticamente orientadas. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo general desarrollar e implementar una metodología educativa basada en realidad virtual y aumentada para capacitar a estudiantes de odontología en el uso clínico de la nanotecnología, evaluando su efectividad mediante un enfoque cuasi-experimental con pruebas pre y post intervención.

Métodos o Metodología Computacional

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

La presente investigación adopta un enfoque metodológico cuasiexperimental con diseño pretest-postest y grupo único, orientado a desarrollar, implementar y validar una metodología de capacitación inmersiva para estudiantes de odontología en el ámbito de la nanotecnología clínica. Esta metodología combina componentes pedagógicos, tecnológicos y computacionales, articulados en una secuencia estructurada de fases que permiten integrar la formación científica con el uso de tecnologías de realidad virtual (RV) y aumentada (RA). El enfoque se sustenta en los principios del diseño instruccional iterativo, la validación por juicio de expertos, y la evaluación de impacto mediante análisis cuantitativo y cualitativo.

La metodología está organizada en cinco fases interdependientes: (1) Diagnóstico y planificación, (2) Diseño instruccional y tecnológico, (3) Implementación de la intervención formativa, (4) Validación metodológica y evaluación formativa, y (5) Análisis de resultados y ajustes finales. Cada fase incluye procesos estructurados, herramientas computacionales específicas y criterios de evaluación definidos.

Fase I. Diagnóstico y planificación estratégica

Objetivo de la fase I: Establecer el estado inicial de conocimientos, actitudes y percepciones de los estudiantes sobre nanotecnología en odontología, y estructurar una planificación instruccional preliminar alineada con las necesidades detectadas.

Actividades principales:

- Aplicación de una prueba diagnóstica validada con ítems de opción múltiple y escala tipo Likert.
- Levantamiento de línea base sobre competencias digitales de los estudiantes.
- Revisión de currículos académicos de odontología en Ecuador para identificar vacíos temáticos.
- Diseño del plan estratégico de la intervención pedagógica.

Tabla 1. Indicadores de evaluación de la fase I.

Indicador	Tipo	Método de evaluación	Valor objetivo
Índice de desconocimiento temático	Cuantitativo	% de respuestas incorrectas en el pretest diagnóstico	> 60%
Nivel de aceptación estudiantil	Cualitativo	Análisis de contenido de respuestas abiertas	Alta relevancia percibida
Coherencia del plan estratégico	Cualitativo	Juicio de expertos	≥ 80% de acuerdo interjueces

Fase II. Diseño instruccional y desarrollo tecnológico

Objetivo de la fase: Diseñar los recursos formativos, objetivos de aprendizaje, indicadores de logro y recursos tecnológicos requeridos para implementar la intervención de 12 semanas basada en RV y RA.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Actividades principales

- Consulta estructurada a expertos para la validación de objetivos de aprendizaje y criterios de evaluación.
- Diseño instruccional empleando el modelo ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación, Evaluación).
- Definición del marco tecnológico (hardware y software) para la simulación inmersiva.
- Selección de contenidos científicos validados sobre nanotecnología odontológica.
- Desarrollo de guiones interactivos y escenarios de simulación 3D.

Tabla 2. Indicadores clave de la Fase II.

Indicador	Tipo	Método	Criterio de cumplimiento
Nivel de concordancia entre expertos (objetivos de aprendizaje)	Cuantitativo	Coeficiente Kendall W	≥ 0.75
Alineación entre objetivos, contenidos y actividades	Cualitativo	Rúbrica de coherencia instruccional	≥ 80%
Adecuación tecnológica	Cualitativo	Informe técnico funcional	Total compatibilidad RV/RA

Marco tecnológico

El marco tecnológico constituye un componente esencial en la presente investigación, ya que define las condiciones técnicas mínimas necesarias para implementar de forma eficiente y realista la propuesta metodológica basada en realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) en un contexto educativo odontológico. En particular, la incorporación de tecnologías inmersivas como la RV y RA requiere una cuidadosa planificación de los recursos computacionales y digitales, considerando tanto la viabilidad económica del entorno académico en un país en desarrollo como la escalabilidad del sistema para futuras réplicas. Por ello, se han delimitado dos ejes fundamentales dentro de este marco: los requerimientos de hardware, que incluyen dispositivos de visualización, estaciones de trabajo, sensores de movimiento y elementos periféricos; y los requerimientos de software, que abordan plataformas de desarrollo educativo en 3D, entornos de simulación clínica, sistemas de gestión del aprendizaje (LMS) y motores de visualización. Esta doble clasificación no solo responde a criterios de funcionalidad y compatibilidad, sino también a principios de accesibilidad, sostenibilidad y adaptabilidad tecnológica.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Asimismo, la definición explícita del marco tecnológico permite establecer estándares de calidad para el diseño, ejecución y evaluación de la intervención educativa, alineando los objetivos pedagógicos con la infraestructura digital disponible. En este sentido, el componente tecnológico no es un elemento accesorio, sino un pilar estructural que viabiliza la transferencia del conocimiento nanotecnológico al entorno formativo, reduciendo la brecha entre teoría y práctica en contextos académicos con limitaciones de recursos físicos para la experimentación clínica directa.

Tabla 3. Infraestructura de hardware

Componente	Especificación mínima	Justificación técnica
Gafas RV	Oculus Quest 2, 128 GB	Inmersión autónoma y alta resolución
Dispositivos móviles RA	iPad Pro / Android 12+ con ARCore	Acceso a experiencias RA portátiles
Servidor local	Intel Xeon, 64 GB RAM, SSD 1TB	Soporte para base de datos y LMS
Estación de desarrollo	Workstation con NVIDIA RTX 4070	Procesamiento gráfico para modelado 3D

Tabla 4. Software y herramientas digitales.

Software	Funcionalidad	Licencia
Unity 3D + Vuforia	Desarrollo de simulaciones RV/RA	Open Source con plugins
Blender	Modelado y animación 3D	Open Source
Moodle	Plataforma educativa	GNU GPL
Python + Django	Backend del sistema de seguimiento y pruebas	Open Source
SPSS / R	Análisis estadístico	Licencia académica / libre

Fase III. Implementación de la intervención formativa

Objetivo de la fase: Aplicar la metodología instruccional durante 12 semanas, integrando actividades teórico-prácticas con simulaciones en RV y RA, según un plan de actividades predefinido.

Tabla 5. Diseño de la intervención (12 semanas).

Semana	Tema principal	Actividad central	Modalidad
1	Introducción a la nanotecnología	Simulación RA de estructuras atómicas	Presencial
2–3	Nanomateriales dentales	Laboratorio virtual interactivo	RV
4	Nanotecnología en prevención	Caso clínico simulado	RA
5–6	Diagnóstico con nanosensores	Exploración guiada en RV	Presencial y remoto
7–8	Aplicaciones terapéuticas	Simulación de nanoimplantes	RV
9–10	Bioética y nanotecnología	Foro con avatar de experto	RA
11	Revisión integradora	Quiz gamificado	Moodle
12	Evaluación final y reflexión	Simulación de caso completo	RV

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Los indicadores de seguimiento semanal son:

- Tasa de asistencia > 85%
- Interacción en la plataforma LMS > 70%
- Cumplimiento de actividades > 90%

Fase IV. Validación de la metodología y evaluación de resultados

Objetivo de la fase: Verificar la validez de contenido, constructo y aplicabilidad de la metodología mediante juicio de expertos, y analizar el impacto de la intervención educativa.

Procesos y técnicas:

- Validación estructurada por expertos con escala tipo Likert (1–5) en tres dimensiones: pertinencia, factibilidad, aplicabilidad.
- Cálculo de índice de validez de contenido (IVC).
- Aplicación de postest cuantitativo.
- Análisis estadístico de diferencias pretest-postest mediante ANOVA de medidas repetidas.

Tabla 6. Indicadores clave de la Face IV.

Indicador	Método	Valor esperado
Índice de validez de contenido (IVC)	Lawshe modificado	≥ 0.78
Diferencia media pretest–postest	ANOVA	$p < 0.05$
Nivel de satisfacción de estudiantes	Encuesta postintervención	≥ 85% satisfechos

Fase V. Análisis y ajustes finales

Objetivo de la fase: Interpretar los resultados de la intervención, emitir recomendaciones de mejora y estructurar un modelo replicable.

Actividades finales:

- Análisis cualitativo de percepciones estudiantiles (codificación temática).
- Redacción del informe técnico-científico.
- Reajuste iterativo del modelo metodológico según hallazgos.
- Propuesta de escalabilidad para otras universidades o especialidades.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Resultados y discusión

La metodología propuesta se implementó a través de un estudio de caso aplicado a 35 estudiantes de educación superior en el área de Odontología, durante un ciclo académico de 12 semanas. La intervención educativa se estructuró mediante seminarios prácticos, simulaciones clínicas inmersivas y actividades colaborativas, guiadas por expertos en nanotecnología y tecnologías educativas. El objetivo principal fue fortalecer el conocimiento teórico-práctico sobre el uso de la nanotecnología en procedimientos odontológicos, mediante una estrategia educativa fundamentada en metodologías activas y tecnologías inmersivas. Para evaluar el impacto del proceso formativo, se aplicó una prueba de conocimientos en dos momentos: antes y después de la intervención. Además, se realizaron actividades sistemáticas como pruebas diagnósticas, evaluación de competencias digitales, y revisión curricular, cuyos resultados se detallan a continuación:

Aplicación de prueba diagnóstica sobre nanotecnología en odontología

Para establecer el nivel inicial de conocimientos de los estudiantes sobre nanotecnología aplicada a la odontología, se diseñó una prueba diagnóstica estructurada en dos secciones: la primera con ítems de opción múltiple y la segunda con afirmaciones valoradas en escala tipo Likert de 5 puntos (desde "Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo"). Esta prueba fue validada por juicio de expertos (cinco especialistas en nanotecnología, educación odontológica y diseño instruccional), aplicando el índice de validez de contenido (IVC) de Lawshe modificado, con un resultado global de 0,82, lo cual se consideró aceptable para su aplicación.

La prueba se aplicó a los 35 participantes antes de la intervención. La siguiente tabla presenta los resultados promedio de cada ítem, incluyendo la desviación estándar, lo cual permitió identificar conceptos poco comprendidos por los estudiantes y orientar el diseño del módulo formativo.

Tabla 7. Resultados de la prueba diagnóstica aplicada antes de la intervención educativa

Ítem	Tipo de ítem	Media (M)	Desviación estándar (DE)
1. ¿Cuál es la definición más precisa de nanotecnología en odontología?	Opción múltiple	0.43	0.50
2. Aplicaciones actuales de la nanotecnología en procedimientos restaurativos	Opción múltiple	0.34	0.47
3. Riesgos y beneficios de los nanomateriales dentales	Opción múltiple	0.29	0.45
4. Los nanocompuestos mejoran la adhesión en restauraciones directas	Escala Likert	2.8	0.91

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

5. Conozco al menos tres usos clínicos del óxido de zinc nanoparticulado	Escala Likert	2.3	1.01
6. Considero que la nanotecnología es relevante en el ejercicio clínico profesional	Escala Likert	3.1	0.88
7. He utilizado materiales con nanotecnología durante prácticas o laboratorios previos	Escala Likert	1.9	0.76
8. Me siento capacitado para explicar qué es un nanocompuesto a un paciente	Escala Likert	2.0	0.94
9. La nanotecnología está integrada en la malla curricular de mi carrera	Escala Likert	1.6	0.79
10. Estoy interesado en aprender sobre nuevas tecnologías aplicadas a la odontología	Escala Likert	4.2	0.68

Los resultados muestran un nivel bajo de conocimiento conceptual sobre nanotecnología, evidenciado en las bajas medias de los ítems de opción múltiple (todos por debajo de 0.5). Los ítems valorativos en escala Likert refuerzan esta tendencia, especialmente en temas vinculados a la aplicación práctica y curricular, con valores promedio inferiores a 2.5 en más del 70% de los casos. No obstante, destaca un alto nivel de interés y motivación para aprender (M = 4.2), lo que sugiere condiciones favorables para implementar una intervención educativa activa y tecnológica.

Levantamiento de línea base sobre competencias digitales

La segunda actividad consistió en identificar el nivel de competencias digitales de los participantes. Para ello, se definieron tres grandes categorías de competencias, según el modelo DigCompEdu adaptado al contexto latinoamericano y validado por juicio de expertos:

- C1: Competencia Instrumental (manejo básico de herramientas digitales)
- C2: Competencia Comunicacional (interacción académica y colaboración digital)
- C3: Competencia Pedagógica-Tecnológica (uso educativo de TIC para el aprendizaje clínico)

Se diseñó un instrumento autoadministrado con 12 ítems distribuidos en estas tres categorías, medidos en una escala de 1 a 5. A continuación, se presentan los resultados agrupados por competencia.

Tabla 8. Nivel de competencias digitales de los estudiantes previo a la intervención.

Competencia	Media (M)	Desviación estándar (DE)	Nivel interpretado
C1. Instrumental básica	3.8	0.74	Moderadamente competente
C2. Comunicacional	3.2	0.81	Nivel medio
C3. Pedagógica-tecnológica	2.6	0.92	Bajo nivel

Los estudiantes presentan una competencia aceptable en el uso instrumental de herramientas digitales (como navegadores, procesadores de texto y plataformas virtuales básicas). Sin embargo, muestran limitaciones en la colaboración en entornos digitales (comunicacional) y un nivel bajo en el uso de tecnologías para fines

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

educativos específicos, como simuladores clínicos o herramientas de realidad aumentada. Estos resultados justifican la incorporación de módulos de formación digital durante la intervención educativa.

Revisión curricular y diseño del plan estratégico de intervención

En la tercera actividad se llevó a cabo una revisión sistemática de los currículos de 7 programas de Odontología en universidades públicas y privadas del Ecuador. El análisis se centró en identificar la presencia de asignaturas, contenidos o prácticas relacionadas con nanotecnología, biotecnología avanzada o materiales odontológicos de nueva generación.

Los resultados mostraron una escasa o nula inclusión explícita de temas relacionados con nanotecnología. La mayoría de los programas solo incluyen contenidos tradicionales sobre biomateriales, sin profundizar en sus versiones nanoestructuradas ni en sus implicaciones clínicas. Este vacío justifica la implementación de una intervención pedagógica específica que incorpore estos saberes mediante estrategias activas e inmersivas. En respuesta a esta brecha, se diseñó un plan estratégico de intervención pedagógica, estructurado en 4 fases y con objetivos específicos por cada componente, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 9. Plan estratégico de intervención pedagógica sobre nanotecnología en odontología.

Fase	Objetivo específico	Actividades clave	Duración estimada
Sensibilización	Despertar el interés por la nanotecnología en odontología	Seminario virtual introductorio, test motivacional	1 semana
Formación teórica	Construir bases conceptuales sólidas	Microlecciones en plataforma Moodle, foros y ejercicios	3 semanas
Práctica inmersiva	Aplicar conceptos mediante simulación	Laboratorios en RV, casos clínicos simulados, retroalimentación	6 semanas
Evaluación	Verificar aprendizajes e impacto	Prueba postest, encuestas de percepción, presentación final	2 semanas

Este plan busca desarrollar progresivamente el conocimiento y la apropiación de la nanotecnología aplicada a la odontología, combinando estrategias teóricas y prácticas. La introducción paulatina de contenidos, mediada por tecnologías inmersivas y actividades colaborativas, permite atender los vacíos curriculares identificados en la revisión inicial, fortaleciendo así la pertinencia y sostenibilidad de la intervención educativa.

Diseño y validación de la propuesta educativa

Para garantizar la validez de contenido y la coherencia pedagógica, tecnológica y científica de la propuesta educativa centrada en nanotecnología aplicada a la odontología, se llevó a cabo un proceso de validación

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

mediante juicio de expertos. Se conformó un panel interdisciplinario de nueve expertos seleccionados bajo criterios rigurosos de inclusión: (1) título mínimo de maestría en áreas afines (educación en salud, tecnologías aplicadas a la educación, nanotecnología, odontología), (2) al menos cinco años de experiencia profesional, y (3) participación previa en procesos de evaluación educativa o desarrollo curricular.

Del total, tres expertos fueron odontólogos con formación académica en biotecnología y docencia universitaria; dos expertos eran ingenieros biomédicos con experiencia en simulación clínica y entornos inmersivos; dos pedagogos especializados en diseño instruccional y uso de TIC en salud; y dos investigadores con publicaciones en nanotecnología aplicada a la medicina y la educación superior. Todos los participantes evaluaron la metodología a través de una rúbrica estandarizada tipo Likert de 5 puntos (1 = Muy deficiente, 5 = Excelente), compuesta por ítems distribuidos en tres dimensiones: pertinencia pedagógica, viabilidad tecnológica y calidad científica del contenido.

Tabla 10. Evaluación de la propuesta educativa por expertos (escala 1-5)

Ítem evaluado	Media	DE
Claridad y pertinencia de los objetivos de aprendizaje	4.78	0.44
Coherencia entre contenidos, actividades y evaluación	4.56	0.53
Actualización y validez científica de los contenidos seleccionados	4.67	0.50
Viabilidad técnica del entorno de simulación propuesto	4.33	0.71
Innovación metodológica y aplicabilidad en contextos de educación superior	4.89	0.31
Nivel de integración entre RA/RV y los escenarios clínicos simulados	4.22	0.67
Adecuación del tiempo y estructura de la intervención (12 semanas)	4.44	0.68
Factibilidad de implementación en contextos universitarios de países en desarrollo	4.11	0.78

Los resultados obtenidos reflejan un alto nivel de aceptación global de la propuesta educativa. Los ítems con mayor valoración corresponden a la innovación metodológica (M = 4.89) y la claridad de los objetivos de aprendizaje (M = 4.78), lo que evidencia que los expertos reconocieron el valor transformador del diseño pedagógico basado en tecnologías inmersivas. También se valoró altamente la validez científica de los contenidos (M = 4.67), sustentados en literatura reciente y evidencia biomédica actual. Por otro lado, los ítems con menor puntuación relativa, aunque aún aceptables, fueron la factibilidad de implementación (M = 4.11) y la viabilidad técnica del entorno inmersivo (M = 4.33), reflejando preocupaciones sobre la disponibilidad de recursos tecnológicos y las limitaciones logísticas en entornos universitarios de países en desarrollo como

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Ecuador. Esto sugiere áreas específicas donde la propuesta podría optimizarse, sin comprometer su estructura central.

Las recomendaciones de mejora emitidas por los expertos participantes, tras el análisis cualitativo de sus observaciones, apuntan a optimizar la estructura y la implementación de la propuesta pedagógica. En primer lugar, sugieren incluir un módulo introductorio autónomo sobre nanotecnología previo a las simulaciones, con el fin de homogeneizar el conocimiento base de los estudiantes y asegurar una comprensión uniforme. Además, recomiendan ampliar el tiempo destinado a las simulaciones clínicas en realidad virtual (RV), especialmente en escenarios complejos, para favorecer una mayor immersión y aprendizaje.

También proponen incorporar métricas de evaluación automatizadas, como el seguimiento de decisiones clínicas en tiempo real mediante entornos de realidad aumentada (RA), para obtener datos más precisos y en tiempo real sobre el desempeño de los alumnos. Para facilitar la accesibilidad, sugieren ofrecer alternativas de bajo costo mediante simuladores en PC o dispositivos móviles, especialmente en instituciones que no disponen de equipos de RV. Asimismo, resaltan la importancia de fortalecer los aspectos éticos y de bioseguridad en el uso de nanomateriales dentro del plan de estudios. Finalmente, recomiendan vincular las actividades virtuales con prácticas reales supervisadas en clínicas universitarias, una vez concluidas las simulaciones, con el objetivo de consolidar el aprendizaje y promover una experiencia clínica más cercana a la realidad.

Implementación de la intervención formativa

La fase de implementación de la intervención constituyó el núcleo operativo de la metodología instruccional diseñada. Durante doce semanas, se aplicó un programa formativo integral sobre nanotecnología odontológica, estructurado en módulos temáticos distribuidos cronológicamente. Cada módulo integró contenidos teóricos breves, actividades prácticas y entornos simulados inmersivos, garantizando la progresividad del aprendizaje y su contextualización clínica. Las actividades se desarrollaron en modalidades presencial, remota y mixta, apoyadas en una plataforma de gestión del aprendizaje (LMS) para seguimiento asincrónico.

Para cada semana se establecieron indicadores de seguimiento y participación que permitieron medir la eficacia operativa de la implementación: tasa de asistencia semanal, nivel de interacción en el LMS, y grado de cumplimiento de las actividades planificadas.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Tabla 11. Diseño y resultados de la intervención educativa (12 semanas).

Tema principal	Actividad central	Asistencia (%)	Interacción LMS (%)	Cumplimiento (%)
Introducción a la nanotecnología	Simulación RA de estructuras	94.3	76.2	100
Nanomateriales dentales	Laboratorio virtual interactivo	88.6	81.4	92.9
Nanotecnología en prevención	Caso clínico simulado	90.0	74.3	97.1
Diagnóstico con nanosensores	Exploración guiada en RV	85.7	78.6	91.4
Aplicaciones terapéuticas	Simulación de nanoimplantes	87.1	72.9	94.3
Bioética y nanotecnología	Foro con avatar de experto	91.4	75.7	100
Revisión integradora	Quiz gamificado	100.0	88.6	100
Evaluación final y reflexión	Simulación de caso completo	94.3	85.7	97.1

Los resultados muestran un alto nivel de participación estudiantil a lo largo de las 12 semanas. La tasa de asistencia superó el 85% en todas las semanas, alcanzando un promedio general de 91.4%, lo que sugiere una buena acogida de la metodología propuesta. La interacción con la plataforma LMS fue igualmente destacable, con un promedio del 79.2%, indicando un adecuado compromiso con el aprendizaje autónomo. El cumplimiento de las actividades alcanzó un promedio del 96.6%, superando el umbral mínimo establecido como criterio de eficacia (>90%).

En particular, las sesiones de mayor interacción LMS coincidieron con las actividades gamificadas y las simulaciones clínicas completas, lo que sugiere que los entornos interactivos y los elementos de juego fomentaron el compromiso cognitivo de los participantes. Asimismo, se observó una participación ligeramente menor en actividades exclusivamente virtuales, lo que refleja la necesidad de combinar inmersión tecnológica con guía presencial, especialmente en contextos con limitaciones de conectividad o familiaridad con RV/RA.

Estos datos respaldan la viabilidad pedagógica y tecnológica de la intervención, y confirman que, incluso en países en desarrollo, es posible implementar estrategias educativas avanzadas siempre que se acompañen de diseño instruccional riguroso y monitoreo constante.

Análisis de los resultados

Se aplicó un postest cuantitativo a los estudiantes para medir el impacto de la intervención en su aprendizaje, el cual fue analizado mediante ANOVA de medidas repetidas para evaluar las diferencias entre las puntuaciones pretest y postest. Finalmente, se realizó una encuesta postintervención para conocer el nivel de

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

satisfacción de los estudiantes, con el fin de determinar la percepción subjetiva de la efectividad del programa educativo.

Tabla 12. Resultados de la validación y evaluación de la metodología educativa.

Indicador	Método	Valor obtenido	Valor esperado
Índice de validez de contenido (IVC)	Lawshe modificado	0.83	≥ 0.78
Diferencia media pretest-postest	ANOVA	$p = 0.003$	$p < 0.05$
Nivel de satisfacción de estudiantes	Encuesta postintervención	87%	≥ 85%

La validación estructurada por expertos mostró un alto grado de consenso y satisfacción con la metodología propuesta. El Índice de validez de contenido (IVC) fue de 0.83, superando el valor esperado de 0.78, lo que indica que los expertos consideraron que los contenidos, actividades y el enfoque pedagógico eran pertinentes y adecuados para la intervención educativa. Esto refuerza la confiabilidad de los elementos diseñados en la metodología.

En cuanto a la evaluación cuantitativa, los resultados del ANOVA de medidas repetidas mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados pretest y postest, con un valor p de 0.003 ($p < 0.05$). Este hallazgo sugiere que la intervención tuvo un impacto positivo en los conocimientos y competencias de los estudiantes sobre nanotecnología odontológica. Este análisis confirma la efectividad de la metodología aplicada en términos de aprendizaje técnico y práctico, ya que se observó una mejora significativa en el desempeño.

Por último, la encuesta postintervención, que midió el nivel de satisfacción de los estudiantes, arrojó que el 87% de los participantes se mostró satisfecho con la intervención educativa. Este resultado supera el umbral esperado del 85%, lo que refleja que la mayoría de los estudiantes percibieron la intervención como útil, atractiva y efectiva para su formación profesional.

Discusión

La nanotecnología se ha consolidado como una fuerza transformadora en la odontología, brindando soluciones innovadoras para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades dentales. Aprovechando las propiedades particulares de los materiales a nanoescala, esta disciplina mejora significativamente la calidad del cuidado dental, ofreciendo alternativas más eficaces y eficientes en comparación con los métodos tradicionales. La integración de la nanotecnología en este campo ha permitido avances sustanciales en áreas como los materiales dentales, las técnicas de diagnóstico y las intervenciones

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

terapéuticas, generando un impacto positivo en la salud bucal (Baiju & Thomas, 2023; Sreenivasalu et al., 2022).

En cuanto a la prevención, las nanopartículas, como las de plata, demuestran propiedades antimicrobianas fuertes, cruciales para prevenir infecciones bucales y caries, ya que pueden alterar las paredes celulares bacterianas y reducir la formación de placa (Baiju & Thomas, 2023). La nanotecnología también habilita la remineralización mediante compuestos como el fosfopéptido de caseína y el fosfato de calcio amorfo combinados con agentes fluorados de tamaño nanométrico, lo que ayuda a restaurar el contenido mineral del esmalte y prevenir la caries (Dipalma et al., 2024). Además, debido a su tamaño, las nanopartículas pueden penetrar en la estructura de la biopelícula, atacando las bacterias cariogénicas desde su interior y reduciendo la producción de ácido, un factor principal en la formación de caries.

En el ámbito del diagnóstico, las nanopartículas mejoran las técnicas de imagen, permitiendo la detección temprana y más precisa de patologías bucales. El uso de nanosensores y puntos cuánticos incrementa la resolución y precisión en métodos de obtención de imágenes (Nayar et al., 2011). Paralelamente, la nanotecnología posibilita el desarrollo de herramientas diagnósticas con alta sensibilidad, capaces de detectar signos tempranos de caries y enfermedades periodontales con mayor precisión que los enfoques tradicionales (Sreenivasalu et al., 2022).

En el tratamiento, la nanotecnología aporta mejoras en la odontología restauradora, elevando las propiedades mecánicas, la estética y la durabilidad de los materiales y adhesivos dentales, lo que resulta en restauraciones más duraderas y estéticamente naturales (Alsuraifi et al., 2024). Los sistemas de administración de medicamentos basados en nanomateriales permiten una entrega precisa de fármacos en la cavidad oral, optimizando la eficacia terapéutica y minimizando efectos secundarios, con aplicaciones en tratamientos contra el cáncer y las infecciones bucales (Budyanskyy & Volovyk, 2024). Además, en ortodoncia y en implantes dentales, las superficies nanoestructuradas mejoran la osteointegración y estabilidad de los implantes, mientras que los nanomateriales con memoria de forma facilitan movimientos dentales más rápidos y eficientes.

No obstante, la aplicación de la nanotecnología enfrenta desafíos y limitaciones, como la alta reactividad de los nanomateriales, que puede generar problemas de citotoxicidad y afectar al medio ambiente. Asimismo, el costo de síntesis y producción de soluciones basadas en nanotecnología puede limitar su adopción en la

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

práctica clínica cotidiana (Abou Neel et al., 2015). Sin embargo, la investigación en curso continúa revelando un gran potencial para mejorar la atención en salud bucal, con soluciones innovadoras que prometen ser más eficaces y accesibles en el futuro cercano.

En este sentido, La intervención educativa implementada en este estudio tuvo como objetivo evaluar la aplicabilidad de la nanotecnología odontológica mediante una metodología innovadora basada en simulaciones inmersivas de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA). Los resultados obtenidos durante las diversas fases de la intervención validaron tanto la pertinencia como la efectividad del enfoque educativo, mostrando mejoras sustanciales en el conocimiento de los estudiantes sobre los temas abordados. La validación realizada por un panel de expertos reveló un alto grado de concordancia respecto a la relevancia y factibilidad de los contenidos y actividades propuestas, lo que respalda la validez de la metodología diseñada.

En términos de aprendizaje, los resultados cuantitativos indicaron una mejora significativa en los conocimientos adquiridos por los estudiantes, evidenciada a través de las diferencias estadísticas entre los pretest y postest. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que han mostrado el potencial de las simulaciones inmersivas para mejorar la retención de conocimientos técnicos en áreas complejas como la odontología. En particular, las simulaciones en RV y RA permitieron a los estudiantes experimentar situaciones clínicas de manera segura, lo que favoreció la comprensión profunda y la aplicación de los conceptos. La interacción constante con escenarios virtuales y la posibilidad de realizar prácticas sin riesgos reflejaron una alta efectividad pedagógica.

El nivel de satisfacción de los estudiantes, superior al 85%, también resalta la acogida positiva que tuvieron las herramientas tecnológicas empleadas, especialmente aquellas que involucraron componentes lúdicos y visuales. Las simulaciones interactivas y los foros con avatares de expertos, en particular, fomentaron un aprendizaje más dinámico y motivante, lo que puede haber influido en el compromiso y la participación activa de los estudiantes durante el curso. Sin embargo, los resultados también sugieren que, a pesar del alto nivel de satisfacción, algunos estudiantes reportaron dificultades al adaptarse a la tecnología, especialmente aquellos con menor familiaridad con entornos virtuales.

El uso de un Modelo Instruccional ADDIE permitió una planificación estructurada y una implementación coherente de la intervención. Cada fase del modelo (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Evaluación) fue adaptada al contexto local y a las necesidades específicas de los estudiantes, lo que permitió una integración efectiva de los contenidos de nanotecnología odontológica dentro del currículum. La colaboración con expertos y la consulta constante durante el proceso de diseño garantizaron que la intervención estuviera alineada con los estándares educativos y científicos del campo.

A pesar de los resultados positivos, es importante destacar que la metodología se implementó en un contexto de recursos limitados, propio de países en desarrollo como Ecuador. La infraestructura tecnológica y las competencias digitales de los estudiantes presentaron desafíos adicionales, los cuales fueron mitigados mediante la elección cuidadosa de plataformas accesibles y la capacitación previa. En este sentido, los resultados obtenidos abren una conversación sobre la necesidad de invertir en la formación continua del personal educativo en el uso de nuevas tecnologías, especialmente en contextos de aprendizaje remoto o híbrido.

Los hallazgos de este estudio indican que la nanotecnología puede jugar un papel transformador en la educación odontológica, particularmente cuando se combina con tecnologías emergentes como la RV y RA. Sin embargo, para garantizar su éxito a largo plazo, es crucial continuar con la investigación aplicada y la formación de los profesionales en estas áreas, asegurando que las innovaciones tecnológicas se integren de manera ética, accesible y efectiva en los programas académicos.

Conclusiones

La intervención educativa basada en nanotecnología odontológica utilizando simulaciones en realidad virtual y aumentada demostró ser una herramienta eficaz para mejorar los conocimientos y competencias de los estudiantes de odontología. Los resultados obtenidos, tanto en términos de validación experta como de impacto en el aprendizaje, respaldan la viabilidad de la metodología propuesta, especialmente en contextos educativos con limitaciones tecnológicas. Esta investigación resalta el potencial de la nanotecnología como un componente clave en la innovación de la educación odontológica, destacando la importancia de la formación continua y el uso de tecnologías emergentes para transformar la enseñanza y la práctica clínica en el futuro.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Referencias

Abiodun-Solanke, I. M. F., Ajayi, D., & Arigbede, A. (2014). Nanotechnology and its application in dentistry. *Annals of medical and health sciences research*, *4*(3), 171-177. https://www.ajol.info/index.php/amhsr/article/view/112277

Abou Neel, E. A., Bozec, L., Perez, R. A., Kim, H.-W., & Knowles, J. C. (2015). Nanotechnology in dentistry: prevention, diagnosis, and therapy. *International journal of nanomedicine*, 6371-6394. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2147/IJN.S86033

Al-Saud, L. M., Mushtaq, F., Allsop, M. J., Culmer, P. C., Mirghani, I., Yates, E., Keeling, A., Mon-Williams, M., & Manogue, M. (2017). Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *European Journal of Dental Education*, *21*(4), 240-247. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/eje.12214

Alsuraifi, A., Sulaiman, Z. M., Mohammed, N. A. R., Mohammed, J., Ali, S. K., Abdualihamaid, Y. H., Husam, F., & Ayad, A. (2024). Explore the most recent developments and upcoming outlooks in the field of dental nanomaterials. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *13*(1), 82. https://link.springer.com/article/10.1186/s43088-024-00540-7

Anil, S., Anand, P., Alghamdi, H., & Jansen, J. (2011). Dental implant surface enhancement and osseointegration. *Implant dentistry-a rapidly evolving practice*, *2011*, 82-108. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=S9CPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA83&dq=Dental+Implant+Surface+Enhancement+and+Osseointegration&ots=z2BzTUhgPj&sig=hNSuVCmun7pgqCUxRA-scjiomPU

Baiju, R., & Thomas, S. (2023). Nanotechnology for Oral Disease Prevention. In *Nanomaterials in Dental Medicine* (pp. 51-73). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-8718-2_3

Budyanskyy, S., & Volovyk, I. (2024). Nanotechnology in dentistry: Diagnostics and treatment. *Art of Medicine*, 202-206. https://www.art-of-medicine.ifnmu.edu.ua/index.php/aom/article/view/1246

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Dipalma, G., Inchingolo, A. D., Guglielmo, M., Morolla, R., Palumbo, I., Riccaldo, L., Mancini, A., Palermo, A., Malcangi, G., & Inchingolo, A. M. (2024). Nanotechnology and Its Application in Dentistry: A Systematic Review of Recent Advances and Innovations. *Journal of Clinical Medicine*, *13*(17), 5268. https://www.mdpi.com/2077-0383/13/17/5268

González-Campos, J., López-Núñez, J., & Araya-Pérez, C. (2024). Educación superior e inteligencia artificial: desafíos para la universidad del siglo XXI. *Aloma: Revista de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport*, *42*(1), 79-90. http://revistaaloma.blanquerna.edu/index.php/aloma/article/download/760/200200380

Guacho, E. P. P., Adriano, G. H. C., Baldeón, M. D. C., & Vizuete, M. G. C. (2022). Metodologías activas de enseñanza-aprendizaje para propiciar la innovación en la educación superior. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, *4*(3), 73-87. http://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/135

Ibarra, C. T., Cedeño, L. B. V., & Canosa, S. A. (2024). Competencias del docente universitario en el campo de ciencias de la salud: revisión sistemática. *Revista Científica de Salud BIOSANA*, *4*(5), 87-102. http://soeici.org/index.php/biosana/article/view/291

Llerena, R. M., & Velastegui, D. C. (2024). Bienestar psicológico y agresividad en estudiantes universitarios. *Revista Científica de Salud BIOSANA*, *4*(3), 39-49. http://soeici.org/index.php/biosana/article/view/151

Nayar, S., Bhuminathan, S., & Muthuvignesh, J. (2011). Upsurge of nanotechnology in dentistry and dental implants. *Indian journal of multidisciplinary dentistry*, *1*(5). https://search.proquest.com/openview/58dd95283682d4ce73313c380712c5a1/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1316336

Sánchez, J. L., & Sánchez, G. V. (2024). Técnicas moleculares aplicadas al diagnóstico clínico. *Revista Científica de Salud BIOSANA*, *4*(3), 143-153. http://soeici.org/index.php/biosana/article/view/165

Sreenivasalu, P. K. P., Dora, C. P., Swami, R., Jasthi, V. C., Shiroorkar, P. N., Nagaraja, S., Asdaq, S. M. B., & Anwer, M. K. (2022). Nanomaterials in dentistry: current applications and future scope. *Nanomaterials*, *12*(10), 1676. https://www.mdpi.com/2079-4991/12/10/1676

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Conflicto de interés

Los autores autorizan la distribución y uso de su artículo.

Contribuciones de los autores

1. Conceptualización: Alexis Fernando Chango Quinga
2. Curación de datos: Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
3. Análisis formal: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
4. Investigación: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
5. Metodología: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
6. Administración del proyecto: Alexis Fernando Chango Quinga
7. Recursos: Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
8. Software: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
9. Supervisión: Alexis Fernando Chango Quinga
10. Validación: Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
11. Visualización: Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
12. Redacción – borrador original: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo
13. Redacción – revisión y edición: Alexis Fernando Chango Quinga, Brandon Andrés Coello Tipan, Valentina Daniela Paredes Jaramillo

Financiación

La investigación no requirió fuente de financiamiento.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)