PULMOMED: DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE REALIDAD VIRTUAL CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL APRENDIZAJE Y COMPRENSIÓN DEL CÁNCER DE PULMÓN EN ESTUDIANTES DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, CAMPUS PASTO

AUTORES

Johnatan Matheu Ruales Galvis

Nicolas Alejandro Garcia Pasmiño

Alejandro España Meza

Universidad Cooperativa De Colombia

ingenieria

ingenieria de software

Pasto

2026

PULMOMED: DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE REALIDAD VIRTUAL CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL APRENDIZAJE Y COMPRENSIÓN DEL CÁNCER DE PULMÓN EN ESTUDIANTES DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, CAMPUS PASTO

AUTORES

Johnatan Matheu Ruales Galvis

Nicolas Alejandro Garcia Pasmiño

Alejandro España Meza

Informe Final para optar el título de Ingeniero de Software

Daniel Fernando Arteaga Fajardo

Universidad Cooperativa De Colombia

ingenieria

ingenieria de software
Pasto

2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION **Pág.**

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. OBJETO O TEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

1.3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo general

1.6.2. Objetivos específicos

1.7. JUSTIFICACIÓN

1.8. DELIMITACIÓN

2. MARCO TEORICO (Teorías Claves para el Entendimiento del proyecto software)

2.1. ANTECEDENTES

2.2. TEORIAS GENERALES DEL PROYECTO

2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN (Se debe desarrollar los objetivos)

5. REPOSITORIO PRODUCTO SOFTWARE

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. OBJETO O TEMA DE INVESTIGACIÓN

El objeto de investigación del proyecto PulmoMed corresponde al desarrollo de un simulador educativo basado en realidad virtual e inteligencia artificial, orientado al aprendizaje y comprensión del cáncer de pulmón en estudiantes y profesionales de la salud de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto.

El proyecto se enfoca en el desarrollo de una herramienta tecnológica que permita representar de manera tridimensional la anatomía pulmonar, el crecimiento de los tumores y su progresión, así como proporcionar funcionalidades de inteligencia artificial que sirvan como apoyo durante el proceso de aprendizaje.

La investigación aborda la integración de tecnologías de realidad virtual, inteligencia artificial, modelado tridimensional y desarrollo de software educativo para crear una experiencia de aprendizaje interactiva e inmersiva. El simulador estará orientado principalmente a complementar los métodos tradicionales de enseñanza y facilitar la comprensión de conceptos relacionados con la anatomía, fisiopatología y progresión del cáncer de pulmón.

El proyecto se desarrolla dentro del contexto académico de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto, y está dirigido principalmente a estudiantes y profesionales de la salud que participen en las actividades de validación y evaluación del prototipo.

Es importante señalar que PulmoMed tendrá un propósito exclusivamente educativo dentro del alcance establecido para esta investigación. El simulador no pretende sustituir los procesos de diagnóstico, tratamiento o atención médica real, sino servir como una herramienta complementaria para fortalecer la formación académica.

1.2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto PulmoMed se sitúa en el ámbito de las innovaciones tecnológicas aplicadas a la medicina, enfocándose en el desarrollo de software educativo que integra realidad virtual e inteligencia artificial para apoyar la enseñanza y comprensión del cáncer de pulmón en estudiantes y profesionales de la salud. La investigación aborda el desafío de crear una herramienta tecnológica avanzada que no solo sea funcional, sino también intuitiva, inmersiva y accesible, mejorando la experiencia de aprendizaje en un área donde el acceso a herramientas modernas aún es limitado en Colombia.

El proyecto tiene un carácter principalmente tecnológico, cubriendo varias subáreas clave de la ingeniería de software:

Desarrollo de Software Educativo: creación de entornos de aprendizaje interactivos y dinámicos que faciliten la comprensión de la anatomía pulmonar y la progresión del cáncer.

Realidad Virtual Avanzada: uso de herramientas como Unity para construir escenarios inmersivos que simulen de manera realista el crecimiento y la metástasis de los tumores pulmonares.

1.3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en software educativo que integren realidad virtual e inteligencia artificial para la enseñanza y comprensión de enfermedades oncológicas, con énfasis en el cáncer de pulmón.

Esta línea de investigación se enfoca en la simulación de casos clínicos complejos, el modelado del crecimiento y la metástasis de tumores, y el diseño de entornos inmersivos interactivos que mejoren la formación de estudiantes y profesionales de la salud.

El objetivo es modernizar la educación médica en oncología pulmonar mediante el uso de tecnologías avanzadas, fomentando un aprendizaje

práctico, accesible y de alto impacto académico, especialmente en contextos donde las herramientas didácticas modernas son limitadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cáncer de pulmón es una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial y representa un reto crítico para el sistema de salud en Colombia, donde las tasas de incidencia y mortalidad siguen siendo elevadas. Según SISPRO (2023), esta enfermedad lidera las estadísticas de fallecimientos en ambos sexos en el país, con una tasa de incidencia de 10.5 por cada 100.000 habitantes y una mortalidad ajustada de 9.0 por cada 100.000 habitantes. A pesar de estos datos alarmantes, la formación académica en oncología pulmonar enfrenta múltiples desafíos, entre ellos la falta de herramientas didácticas modernas que permitan un aprendizaje interactivo y práctico.

Los métodos de enseñanza tradicionales en la educación médica no cubren completamente las necesidades de los estudiantes para comprender la evolución del cáncer de pulmón y practicar la toma de decisiones clínicas en entornos simulados. Esta limitación se traduce en una preparación insuficiente para enfrentar escenarios clínicos reales y contribuye a que muchos pacientes sean diagnosticados en etapas avanzadas de la enfermedad. El diagnóstico tardío continúa siendo un problema grave en Colombia, especialmente en regiones con menor acceso a tecnologías avanzadas y desigualdad en la atención médica, como lo señalan la Organización Panamericana de la Salud (2018) y estudios recientes. Mientras en países como el Reino Unido y España se han implementado con éxito simuladores de realidad virtual que apoyan la formación médica, como el proyecto de la Universidad de Cambridge (2021), en Colombia su adopción es mínima. Esta brecha tecnológica limita las posibilidades de aprendizaje inmersivo y la adquisición de habilidades clínicas más cercanas a la práctica real.

Ante este panorama, surge la necesidad de desarrollar un simulador educativo que integre realidad virtual e inteligencia artificial para representar de manera realista la anatomía pulmonar, el crecimiento y la metástasis de los tumores. PulmoMed busca ofrecer a estudiantes y profesionales de la salud un entorno de aprendizaje innovador, inmersivo y accesible que fortalezca su formación académica y clínica. Con esta herramienta se pretende mejorar la comprensión del cáncer de pulmón, facilitar la práctica de toma de decisiones médicas y contribuir a la reducción de los diagnósticos tardíos, apoyando así una educación médica más moderna y alineada con estándares internacionales.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo puede un simulador educativo basado en realidad virtual e inteligencia artificial mejorar el aprendizaje sobre el cáncer de pulmón en estudiantes y profesionales de la salud en Colombia, fortaleciendo sus competencias clínicas y contribuyendo a la reducción de diagnósticos tardíos mediante una formación más interactiva, inmersiva y cercana a la práctica médica real?

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Objetivo general

Desarrollar un simulador educativo que integre realidad virtual e inteligencia artificial, que apoye la enseñanza del cáncer de pulmón en estudiantes y profesionales de la salud de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto.

1.6.1 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica y consultar con expertos en oncología y tecnología educativa para definir los requerimientos funcionales y pedagógicos del simulador.
- Diseñar una arquitectura de software robusta para PulmoMed basada en el estándar 4+1, asegurando la correcta interacción de los componentes de realidad virtual e inteligencia artificial.
- Desarrollar un prototipo funcional del simulador utilizando herramientas como Unity y Python, integrando modelos de inteligencia artificial para simular el crecimiento y la metástasis del cáncer de pulmón.
- Realizar pruebas piloto con estudiantes y profesionales de la salud para evaluar la efectividad del simulador en el aprendizaje de oncología pulmonar, recolectando retroalimentación para ajustes y mejoras.
- Implementar PulmoMed en los programas de formación médica de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto, evaluando su impacto en el desempeño académico y clínico de los usuarios.

1.7 JUSTIFICACIÓN

El estudio de PulmoMed se enfoca en abordar las limitaciones actuales en la formación médica sobre el cáncer de pulmón en Colombia, una de las principales causas de mortalidad en el país. A pesar de su alta incidencia, la educación académica en oncología pulmonar sigue basada en métodos tradicionales que no permiten un aprendizaje interactivo ni la simulación de escenarios clínicos complejos. Esta falta de herramientas modernas dificulta que los estudiantes comprendan adecuadamente la evolución de la enfermedad y tomen decisiones médicas fundamentadas, lo que contribuye indirectamente a los diagnósticos tardíos y a la limitada preparación de futuros profesionales de la salud.

PulmoMed busca responder a esta problemática mediante el desarrollo de un simulador educativo innovador que combine realidad virtual e inteligencia artificial, permitiendo a los usuarios explorar de forma inmersiva la anatomía pulmonar, el crecimiento de tumores, su metástasis y posibles escenarios clínicos. Al proporcionar una experiencia de aprendizaje interactiva y cercana a la práctica médica real, el proyecto pretende fortalecer las competencias clínicas de estudiantes y profesionales, mejorando su capacidad para comprender la progresión del cáncer y tomar decisiones en entornos de diagnóstico y tratamiento.

La relevancia social de este proyecto radica en su impacto directo en la formación de futuros médicos y profesionales de la salud, quienes serán los principales responsables de la atención de pacientes con cáncer pulmonar en Colombia. Al contar con una herramienta tecnológica moderna, podrán adquirir conocimientos más sólidos y prácticos, reduciendo la brecha existente entre la teoría y la práctica clínica.

Desde un punto de vista académico y científico, PulmoMed aporta al campo de la informática médica y al desarrollo de software educativo mediante la integración de realidad virtual e inteligencia artificial en un entorno didáctico orientado a la medicina. Este enfoque abre nuevas posibilidades para el uso de simuladores clínicos, impulsando metodologías de aprendizaje basadas en la práctica y la experimentación virtual. Además, el proyecto enriquece el ámbito de la ingeniería de software, aplicando estándares de arquitectura como el modelo 4+1 y combinando disciplinas como la realidad virtual, el modelado 3D y la IA médica.

1.8 DELIMITACIÓN

El proyecto PulmoMed se delimita al diseño y desarrollo de un prototipo de software educativo orientado a la enseñanza y comprensión del cáncer de pulmón mediante el uso de realidad virtual e inteligencia artificial. El

proyecto estará dirigido principalmente a estudiantes y profesionales de la salud de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto, como población objetivo para las actividades de validación y evaluación del prototipo.

En cuanto al ámbito geográfico, la investigación se desarrollará en el contexto de la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto, teniendo en cuenta las necesidades relacionadas con la formación médica y el acceso a herramientas tecnológicas para el aprendizaje de enfermedades oncológicas. El proyecto se plantea como una propuesta adaptada al contexto académico colombiano y, particularmente, a las condiciones del entorno universitario de Pasto.

En el ámbito tecnológico, PulmoMed se limitará al desarrollo de un prototipo funcional que integre un entorno de realidad virtual para la visualización de la anatomía pulmonar y la representación del crecimiento y progresión del cáncer de pulmón, junto con funcionalidades básicas de inteligencia artificial como apoyo educativo. Entre los resultados esperados se contempla la visualización tridimensional del sistema respiratorio, la representación introductoria del crecimiento del cáncer, un asistente virtual para responder preguntas educativas y un sistema básico de seguimiento de las actividades realizadas por el estudiante.

La investigación también se delimita al componente educativo, por lo que el simulador tendrá como finalidad apoyar los procesos de aprendizaje y no sustituir los procesos de diagnóstico, tratamiento o atención médica real. La evaluación del prototipo se enfocará en aspectos como su funcionalidad, utilidad académica, experiencia de uso y comprensión de los contenidos, mediante pruebas preliminares, encuestas y retroalimentación de estudiantes y docentes.

Finalmente, el alcance del proyecto corresponde al desarrollo y validación preliminar de un prototipo funcional dentro del entorno universitario. Por lo tanto, no se contempla en esta etapa la implementación del sistema como una herramienta clínica para la atención de pacientes, sino su utilización

como recurso educativo para complementar las metodologías tradicionales de enseñanza y fortalecer la formación académica relacionada con el cáncer de pulmón. Esto es coherente con el alcance planteado en el documento, donde se establece como resultado el desarrollo de un prototipo funcional orientado a pruebas académicas preliminares.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A nivel internacional se han desarrollado herramientas de realidad virtual y realidad aumentada orientadas a la educación médica. Un ejemplo es el Cambridge Virtual Tumour Project, que utiliza modelos tridimensionales para representar tumores y facilitar la comprensión de sus características y comportamiento. Este proyecto se relaciona con PulmoMed debido al uso de entornos virtuales para representar procesos relacionados con el cáncer. Otro antecedente es AugMedicine: Lung Cases, desarrollado para la enseñanza de enfermedades pulmonares mediante casos clínicos y modelos tridimensionales. Esta herramienta permite a los estudiantes relacionar la representación visual de los pulmones con diferentes situaciones clínicas, aspecto relacionado con la propuesta de PulmoMed. También se han desarrollado experiencias de realidad virtual para la enseñanza de procedimientos y contenidos relacionados con el sistema respiratorio, demostrando el uso de entornos inmersivos como apoyo para la formación médica.

2.1.4 ANTECEDENTES NACIONALES

En Colombia se han desarrollado proyectos que utilizan realidad virtual como herramienta para la formación de estudiantes de Medicina y otras áreas de la salud. Entre ellos se encuentran experiencias orientadas al entrenamiento de procedimientos médicos mediante escenarios virtuales, permitiendo repetir actividades y practicar en ambientes controlados. También se han realizado investigaciones sobre el uso de realidad virtual para fortalecer habilidades prácticas y psicomotoras en estudiantes de ciencias de la salud, evidenciando su aplicación como complemento de la formación tradicional. En relación con la inteligencia artificial, diferentes estudios realizados en Colombia han analizado su incorporación en la formación médica y su posible aplicación en áreas como la

simulación clínica, los tutores inteligentes y el procesamiento de lenguaje natural. Estos elementos se relacionan con el componente de inteligencia artificial planteado en PulmoMed. Además, el Instituto Nacional de Cancerología dispone de recursos educativos virtuales relacionados con el cáncer de pulmón, orientados al fortalecimiento de conocimientos sobre prevención y detección temprana. Este antecedente se relaciona directamente con el contenido médico que aborda PulmoMed.

2.2. TEORÍAS GENERALES DEL PROYECTO

2.2.1. Delimitación Clínica: Carcinogénesis Focalizada en el Tabaquismo y el Cigarrillo Electrónico (Vapeo) El cáncer de pulmón es una de las enfermedades más frecuentes y mortales a nivel mundial, ubicándose como la principal causa de fallecimientos por cáncer tanto en hombres como en mujeres. Para el alcance del simulador PulmoMed, el modelo patológico se delimita estrictamente al cáncer de pulmón inducido por la inhalación de agentes tóxicos, específicamente el tabaquismo tradicional y el uso de Sistemas Electrónicos de Administración de Nicotina (SEAN o *vapers*).

A nivel molecular, el humo del tabaco introduce potentes carcinógenos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y nitrosaminas, que forman aductos de ADN en las células epiteliales. Según el Ministerio de Salud y Protección Social (2019), las estadísticas de consumo de tabaco en Colombia reflejan el impacto crónico de este factor de riesgo en el desarrollo de la patología. Paralelamente, los líquidos de vapeo (compuestos por propilenglicol, glicerina y metales pesados) sufren degradación térmica generando formaldehído y acroleína. Estos compuestos inducen estrés oxidativo e inflamación crónica en el epitelio pulmonar, acelerando lesiones precancerosas. El simulador modela estas variables de exposición para representar cómo los diferentes hábitos de inhalación aceleran la progresión celular anómala.

2.2.2. Fisiopatología y la Cascada Metastásica Esta enfermedad se caracteriza por la proliferación descontrolada de células malignas en el tejido pulmonar, pudiendo invadir estructuras cercanas y producir metástasis en etapas avanzadas. En los tumores primarios fuertemente asociados al tabaco y al vapeo (como el carcinoma epidermoide o el cáncer de células pequeñas), la cascada metastásica es altamente agresiva. El proceso inicia con la neoangiogénesis para nutrir el tumor. Luego, las células neoplásicas experimentan una Transición Epitelio-Mesenquimal (TEM), perdiendo proteínas de adhesión celular. Esto les permite degradar la matriz extracelular, ingresar a la circulación sanguínea

(intravasación) y diseminarse. En el simulador, esta progresión sistémica se representa visualmente para que el estudiante comprenda cómo las Células Tumorales Circulantes (CTC) se asientan en órganos diana (cerebro, hígado, huesos) formando tumores secundarios.

2.2.3. Situación Epidemiológica y Acceso Limitado a Herramientas Según SISPRO (2023), en Colombia la incidencia ajustada es de 10.5 por cada 100.000 habitantes y la mortalidad alcanza los 9.0 por cada 100.000, cifras que evidencian una problemática grave para el sistema de salud. En regiones como Pasto, Nariño, estas dificultades se acentúan debido a la escasez de especialistas y recursos tecnológicos. Según Díaz-Casas et al. (2020), la falta de tecnologías y la desigualdad en la infraestructura médica provocan que muchos pacientes sean diagnosticados en etapas tardías. La Organización Panamericana de la Salud (2018) resalta que la desigualdad en el acceso a la atención médica es uno de los factores principales que contribuye al diagnóstico tardío. La falta de simuladores provoca limitaciones en la comprensión de la progresión de la enfermedad, escasa práctica en la toma de decisiones clínicas y tratamientos menos efectivos.

2.2.4. Realidad Virtual en la Educación Médica La realidad virtual (VR) ha demostrado ser una herramienta clave para la enseñanza médica. Como se menciona en el estudio de Cambridge University Hospitals (2021), la RV nos ofrece entornos inmersivos que simulan escenarios clínicos sin poner en riesgo a los pacientes. Estas tecnologías permiten visualizar estructuras anatómicas tridimensionales, practicar procedimientos y comprender procesos fisiopatológicos complejos de manera interactiva. En oncología, la VR facilita el estudio de la anatomía pulmonar y la progresión tumoral, mejorando la retención de conocimientos y las habilidades de diagnóstico.

2.2.5. Inteligencia Artificial (IA) en la Simulación: Machine Learning y Modelos de Ensamble La inteligencia artificial (IA) está transformando la educación médica mediante algoritmos que simulan escenarios clínicos realistas y adaptan el aprendizaje a cada usuario. De acuerdo con la Agencia de Noticias UNAL (2022), los algoritmos de IA son capaces de procesar grandes volúmenes de datos para predecir enfermedades de manera más precisa que los métodos tradicionales, lo que mejora la precisión del diagnóstico.

Para optimizar la capacidad de análisis clínico del simulador, PulmoMed incorpora algoritmos de *Machine Learning* avanzados como **XGBoost** (eXtreme Gradient Boosting). Este modelo de ensamble basado en árboles de decisión resulta altamente eficiente para procesar datos clínicos tabulares (ej. historial de consumo de cigarrillos al día, años de vapeo, marcadores genéticos). XGBoost permite

mejorar la IA predictiva del sistema, calculando con alta precisión la probabilidad de crecimiento tumoral y la velocidad de metástasis basándose en los factores de riesgo específicos introducidos en la simulación.

2.2.6. Procesamiento de Lenguaje Natural: Arquitectura RAG, Transformers y APIs de IA

Para dotar al simulador de un componente interactivo avanzado, el sistema implementa un tutor conversacional especializado en oncología pulmonar. Este módulo opera bajo una arquitectura de **Generación Aumentada por Recuperación (RAG, por sus siglas en inglés)**. A diferencia de un modelo estático, el sistema RAG recupera información de una base de datos indexada con literatura médica actualizada antes de generar una respuesta, eliminando el riesgo de "alucinaciones" (respuestas inventadas) y asegurando rigor científico.

El procesamiento semántico se soporta en arquitecturas de redes neuronales tipo **Transformers**, las cuales son el estándar actual para el entendimiento profundo del contexto en el lenguaje humano. Para ejecutar este procesamiento de manera eficiente y escalable, la plataforma se integra mediante **APIs de IA** con Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs) de vanguardia, como Claude, DeepSeek o Qwen. La conexión a estas APIs permite que el motor de inferencia interprete las consultas clínicas de los estudiantes de medicina en lenguaje natural y devuelva retroalimentación pedagógica precisa y contextualizada.

2.2.7. Desarrollo de Software Educativo, Infraestructura y Privacidad de Datos

El uso de Unity para el desarrollo de experiencias de realidad virtual permite construir entornos tridimensionales interactivos con alto nivel de detalle anatómico. Complementariamente, Python es el lenguaje ideal para integrar los modelos de inteligencia artificial (XGBoost y el sistema RAG) y procesar los datos clínicos que alimenten las simulaciones. La orquestación del backend se apoya en tecnologías de contenerización (como Docker) para asegurar el despliegue escalable de las APIs de IA.

Finalmente, el manejo de estos sistemas exige estándares de seguridad; el uso de cifrado, autenticación y control de acceso permite proteger la integridad de la información y cumplir regulaciones como la Ley de Protección de Datos Personales (Ley 1581 de 2012) en Colombia.

2.2.8. Fundamentos Pedagógicos y Arquitectónicos

- **Teoría del Aprendizaje Experiencial (Kolb, 1984):** Sustenta que el aprendizaje es más efectivo cuando el estudiante interactúa activamente con experiencias prácticas, como sucede en un entorno de realidad virtual.

- **Teoría de la Cognición Situada (Brown, Collins & Duguid, 1989):** Plantea que el conocimiento se construye mejor cuando se adquiere en contextos similares a la práctica real.

- **Modelo 4+1 de Arquitectura de Software (Kruchten, 1995):** Base para diseñar una arquitectura robusta y escalable que soporte la integración de VR, IA predictiva y APIs conversacionales.

2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

- **Hipótesis de Investigación (Hi):** La implementación del simulador PulmoMed, basado en realidad virtual e inteligencia artificial, mejora significativamente la comprensión anatómica, la retención de conocimientos y la capacidad de análisis clínico sobre el cáncer de pulmón en los estudiantes y profesionales de la salud

- **Hipótesis Nula (H0):** La implementación del simulador PulmoMed no genera una mejora significativa en la comprensión anatómica ni en la capacidad de análisis clínico sobre el cáncer de pulmón, obteniendo resultados iguales o inferiores frente a los métodos de enseñanza tradicionales.

- **Hipótesis Alternativa (Ha):** El uso interactivo del simulador PulmoMed reduce significativamente el tiempo necesario para que los estudiantes de medicina adquieran competencias sólidas en la toma de decisiones terapéuticas frente a etapas avanzadas y metastásicas del cáncer de pulmón.

2.4 MARCO CONTEXTUAL

PulmoMed se desarrolla en la Universidad Cooperativa de Colombia, campus Pasto, dentro del contexto de formación de los estudiantes del programa de Medicina. El proyecto surge como una propuesta tecnológica orientada a complementar el aprendizaje de contenidos relacionados con el cáncer de pulmón mediante el uso de realidad virtual e inteligencia artificial. El proyecto busca proporcionar un entorno interactivo en el que los estudiantes puedan explorar la anatomía pulmonar, reconocer características asociadas al cáncer de pulmón y comprender diferentes aspectos relacionados con el desarrollo y progresión de la enfermedad. El uso de estas tecnologías se plantea como un complemento a las estrategias educativas utilizadas en la formación médica, aprovechando la interacción, visualización tridimensional y simulación para facilitar la comprensión de conceptos que pueden resultar complejos mediante métodos tradicionales.

2.5 MARCO LEGAL

El desarrollo de PulmoMed se encuentra relacionado con diferentes disposiciones legales colombianas referentes al uso de información, tecnología y protección de datos. La Ley 1581 de 2012, relacionada con la protección de datos personales, establece disposiciones para el adecuado tratamiento de la información personal. Esta normativa es relevante para PulmoMed debido a que el proyecto puede involucrar información relacionada con estudiantes y usuarios durante su desarrollo y evaluación. De igual manera, la Ley 1751 de 2015, que regula el derecho fundamental a la salud en Colombia, constituye un referente dentro del contexto de formación de profesionales del área de la salud y del uso responsable de herramientas relacionadas con el conocimiento médico. Estas disposiciones proporcionan un marco de referencia para el desarrollo de PulmoMed, teniendo en cuenta el contexto educativo, tecnológico y médico en el que se desarrolla el proyecto.

3. METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque y Tipo de Investigación

El presente proyecto se enmarca dentro de la **Investigación Aplicada** con un **Enfoque Mixto** (cuantitativo y cualitativo) y un alcance **Cuasi-experimental**. Es una investigación aplicada debido a que busca resolver una problemática específica las deficiencias y limitaciones en la enseñanza tradicional de la oncología pulmonar mediante la creación de un producto tecnológico funcional (el simulador PulmoMed). El enfoque mixto se justifica porque, por un lado, se recolectarán datos cuantitativos (métricas de evaluación, tiempo de respuesta clínico y calificaciones de los estudiantes al usar el simulador) para contrastar las hipótesis planteadas; y por otro, se evaluarán variables cualitativas (percepción de inmersión, usabilidad de la interfaz en Realidad Virtual y experiencia de usuario). El diseño cuasi-experimental obedece a que se medirá el impacto del simulador en un grupo de usuarios sin una asignación aleatoria estricta, comparando el rendimiento académico de los estudiantes antes y después del uso de la plataforma.

3.1.2. Población y Muestra

- **Población:** Estudiantes de pregrado y profesionales de la salud pertenecientes a la Facultad de Medicina de la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC), Campus Pasto.
- **Muestra:** Se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a un grupo focal de estudiantes que se encuentren cursando semestres clínicos con asignaturas afines a la patología respiratoria (como Neumología, Patología u Oncología), junto con docentes expertos que validarán la precisión médica del simulador.

3.1.3. Fases de la Investigación

1. **Fase de Diagnóstico y Planificación:** Revisión bibliográfica sistemática sobre el cáncer de pulmón (enfocado en tabaquismo y vapeo), tecnologías inmersivas e IA. Levantamiento de requerimientos funcionales y pedagógicos con expertos en oncología y educación médica.
2. **Fase de Diseño y Desarrollo Tecnológico:** Construcción de la arquitectura del software, modelado 3D de la anatomía pulmonar y la

cascada metastásica, entrenamiento e integración de los modelos de *Machine Learning* (XGBoost) y el sistema conversacional RAG.

3. **Fase de Implementación y Pruebas Piloto:** Despliegue del simulador en visores de Realidad Virtual y ejecución de pruebas de usabilidad (Alfa y Beta) con el grupo focal de estudiantes y docentes de la UCC, Campus Pasto.
4. **Fase de Evaluación y Validación:** Recolección de datos sobre la retención de conocimientos, análisis estadístico de los resultados obtenidos para validar o rechazar las hipótesis de investigación, y ajustes finales al software basados en la retroalimentación.

3.2. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

3.2.1. Marco de Trabajo Ágil (Scrum) Para el desarrollo y gestión del ciclo de vida del simulador PulmoMed, se seleccionó el marco de trabajo ágil **Scrum** debido a su enfoque iterativo e incremental. Esta metodología se adapta rigurosamente a proyectos tecnológicos complejos con requisitos que evolucionan de manera constante, optimizando la gestión, fomentando la colaboración continua, la transparencia y la entrega de valor. Según establecen Schwaber y Sutherland (2020), la ejecución del proyecto se fundamenta en los pilares empíricos de transparencia, inspección y adaptación, los cuales garantizan que el desarrollo se ajuste a las necesidades clínicas y pedagógicas reales descubiertas durante el proceso.

3.2.2. Roles y Estructura del Equipo El uso de Scrum encaja perfectamente con la estructura interdisciplinaria del proyecto, el cual está conformado por desarrolladores (ingenieros de software), colaboradores de apoyo y un experto médico.

- **Product Owner (Propietario del Producto):** Representado por el equipo de investigación en conjunto con el asesor médico/docente. Define los requerimientos clínicos y prioriza el *Product Backlog* (ej. asegurar que la representación de la hiperplasia celular por vapeo sea anatómicamente correcta).
- **Scrum Master:** Encargado de facilitar las ceremonias, remover impedimentos técnicos (ej. problemas de latencia en la API de IA) y asegurar la aplicación correcta del marco de trabajo ágil.
- **Development Team (Equipo de Desarrollo):** Encargado de la programación en Unity y Python, despliegue de infraestructura, diseño 3D y configuración de modelos de IA (RAG y XGBoost).

3.2.3. Ciclo de Iteración (Sprints) El desarrollo se organiza en ciclos denominados *Sprints*, los cuales tendrán una duración de 2 a 4 semanas, periodos en los cuales se planifican, ejecutan y evalúan las tareas. Cada ciclo incluye las siguientes ceremonias:

- **Sprint Planning:** Se extraen las Historias de Usuario más prioritarias del *Backlog* (ej. "Como estudiante, quiero ver la transición epitelio-mesenquimal en RV") y se desglosan en tareas técnicas.
- **Daily Scrum:** Reuniones de sincronización diarias del equipo de desarrollo para evaluar el progreso de la integración entre el motor gráfico y las APIs de IA.
- **Sprint Review (Demostración):** Al finalizar cada ciclo, se presenta un incremento de software funcional (una demo) que permite validar los progresos obtenidos con retroalimentación (*feedback*) del área médica y las partes interesadas.
- **Sprint Retrospective:** Análisis interno del equipo para mejorar prácticas de desarrollo, optimizar el rendimiento del código y ajustar las herramientas CI/CD (Integración y Despliegue Continuos) para el siguiente ciclo.

3.2.4. Arquitectura del Sistema Como complemento a la metodología de desarrollo, la estructuración del código y los componentes del software se rigen por el **Modelo de Vistas 4+1** de Arquitectura de Software propuesto por Kruchten (1995). Este estándar proporciona la base lógica e ingenieril para diseñar una arquitectura robusta y escalable que soporte la alta exigencia computacional de integrar Realidad Virtual (procesamiento de GPU en Unity) de forma paralela con los modelos de Inteligencia Artificial (procesamiento lógico en Python y contenedores Docker), garantizando un rendimiento fluido y libre de latencias que puedan afectar la inmersión del usuario final.

Bibliografía

Agencia de Noticias UNAL. (2022, 21 de junio). *Inteligencia artificial reduciría tiempo para diagnosticar el cáncer*. Universidad Nacional de Colombia. https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/inteligencia-artificial-reduciria-tiempo-para-diagnosticar-el-cancer

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher, 18*(1), 32-42.

Díaz-Casas, S., et al. (2020). Lung cancer incidence and mortality in Latin America. *JCO Global Oncology*. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8457807/

GLOBOCAN (IARC). (2020). *Lung cancer statistics*. Global Cancer Observatory. https://gco.iarc.fr

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.

Kruchten, P. (1995). The 4+1 view model of architecture. *IEEE Software, 12*(6), 42-50.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). *Estadísticas de consumo de tabaco en Colombia*. https://www.minsalud.gov.co

Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2018). *Acceso desigual a la atención médica en áreas rurales de Colombia*. https://www.paho.org

República de Colombia. (2012). *Ley 1581 de 2012 (Protección de Datos Personales)*. Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum guide*. https://scrumguides.org/scrum-guide.html

SISPRO. (2023). *Boletín de cáncer de pulmón*. https://www.sispro.gov.co

Unity Technologies. (s. f.). *Unity Manual & Scripting API (VR development docs)*. https://docs.unity3d.com/Manual/index.html

Universidad Politécnica de Valencia (UPV). (2020). *Técnicas avanzadas para análisis de imágenes de tomografía computarizada en oncología pulmonar (Repositorio RIUNET)*. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104945

University of Cambridge. (2017, 10 de febrero). *Virtual reality journey through a tumour: Cambridge scientists receive £40 million funding boost*. https://www.cam.ac.uk/research/news/virtual-reality-journey-through-a-tumour-cambridge-scientists-receive-ps40-million-funding-boost

ANEXOS