

**Uso de los simuladores de realidad virtual en la enseñanza de ciencias básicas  
en pregrado de medicina .**

**Autor:**

**FEDERICO JAVIER NUÑEZ RICARDO**

**Tutor:**

**JOAO CUESTA RIVAS**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y HUMANIDADES  
ESPECIALIZACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA  
BOGOTÁ, NOVIEMBRE DE 2017**

## **Resumen**

El aprendizaje del dominio médico implica el desempeño de competencias profesionales complejas. El entrenamiento en situaciones reales no siempre es posible, la realidad virtual o aumentada ofrece experiencias altamente realistas que soportan procesos de aprendizaje. Esta revisión pretende determinar el modelo pedagógico, utilidad y transferencia del conocimiento con el uso de modelos de realidad virtual 3D en la enseñanza de ciencias básicas en estudiantes de pregrado en medicina así como su impacto en el diseño curricular de la carrera. Se realizó una revisión integrativa de la literatura mediante búsqueda en bases de datos, meta buscadores y páginas web de diferentes universidades. Los criterios de selección incluye artículos en español e inglés de los últimos 20 años, seleccionando aquellos de mayor relevancia. La evidencia actual demuestra que los modelos 3D en conjunto con métodos tradicionales de enseñanza son útiles, existe transferencia del conocimiento adquirido pero hay poca superioridad sobre el material escrito y poca evidencia en el tiempo de retención del conocimiento. La mayoría de las investigaciones sobre los efectos de la realidad virtual, presentan fallas metodológicas por lo que no se pueden sacar conclusiones firmes. De todos los programas de medicina acreditados se eligieron las 11 mejores de acuerdo a ranking nacional. Se encontró que todas las universidades poseen escenarios para la simulación virtual, sin embargo solo 45% incluyen simulación dentro del curriculum. La presente revisión motiva al diseño de investigación que aclaren las preguntas si el conocimiento adquirido mediante simulación 3D se trasfiere, perdura y es costo efectivo.

## **Palabras Claves**

Simulación, Realidad virtual, Transferencia, Competencias , Curva de aprendizaje .

**Abstract**

The learning of the medical domain implies the performance of complex professional competences. Training in real situations is not always possible, virtual or augmented reality offers highly realistic experiences that support learning processes. This review aims to determine the pedagogical model, utility and knowledge transfer with the use of 3D virtual reality models in the teaching of basic sciences in undergraduate students in medicine as well as its impact on the curricular design of the career. An integrative review of the literature was made by searching databases, meta search engines and web pages of different universities. The selection criteria includes articles in Spanish and English of the last 20 years, selecting those of greater relevance. Current evidence shows that 3D models in conjunction with traditional teaching methods are useful, there is a transfer of acquired knowledge but there is little superiority over written material and little evidence in the time of knowledge retention. Most of the research on the effects of virtual reality, present methodological flaws so you can not draw firm conclusions. Of all the accredited medical programs, the 11 best were chosen according to the national ranking. It was found that all universities have scenarios for virtual simulation, however only 45% include simulation within the curriculum. This review motivates the research design to clarify the questions if the knowledge acquired through 3D simulation is transferred, lasts and is cost effective.

**Key Words**

Simulation, Virtual Reality, Transfer, Competencies, Learning Curve

## 2. Introducción

El marco conceptual de la medicina se centraba en la adquisición de un gran volumen de conocimiento basados en un aprendizaje memorístico y centrado en el profesor . Esto ha venido dando paso a la integración horizontal trans disciplinaria entre las ciencias básicas y a la integración vertical en las ciencias clínicas dentro del contexto clínico. La enseñanza de la medicina en las últimas décadas ha experimentado dos grandes cambios: el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) que sustituye la clase magistral centrada en el profesor por talleres centrados en un alumno activo y la aparición de nuevas tecnologías como parte del proceso educativo

La necesidad de crear una cultura de seguridad para el paciente y brindar calidad en la atención ha tomado importancia especialmente después que el Instituto Nacional de Medicina de Estado Unidos reportara en 1999 en el artículo “ to err is human: building a safer health system, que ocurrían 98.000 muertes anuales por error medico excediendo a las defunciones por accidente automotor , cáncer de seno y SIDA (Khon, 1999) . La tasa de eventos adversos asociados a errores médicos es de 8% siendo muchos prevenibles (Baker, 2004).

El aprendizaje y enseñanza en medicina son fundamentales para disminuir el error medico. La preocupación por la seguridad del paciente ha llevado a interrogarse sobre la eficacia y eficiencia en la formación de profesionales Se ha cuestionado si el estudiante tiene suficiente practica antes de enfrentarse a la profesión; por lo anterior en la Organización Mundial Salud se desarrollan técnicas para mejorar la calidad de atención al paciente (Serna-Ojeda, 2012) . Se plantea entonces la necesidad de integrar en los programas de educación médica reformas incluyendo conceptos de seguridad para el paciente dirigidos a prestar una atención segura, efectiva , centrada en el paciente, eficiente y equitativa .

El estudiante de medicina en cualquier nivel pre o posgrado es un estudiante adulto. El adulto aprende de diferentes formas y por diferentes razones , en comparación con la enseñanza a niños. Bryan describió cinco principios del aprendizaje del adulto: El adulto necesita conocer porqué está aprendiendo, está motivado por la necesidad de resolver problemas, las experiencias previas hay que respetarlas y construir a partir de ellas , el tipo de educación debe ser compatible con la diversidad y antecedentes de los estudiantes y por último el adulto necesita estar implicado activamente en todo el proceso enseñanza-aprendizaje.

En la enseñanza tradicional de la medicina el escenario es pasivo, de emisor-receptor, de profesor a alumno. Esto no es compatible con las necesidades de un estudiante adulto que requiere un ambiente de interacción más dinámico. Además la clase tradicional solo desarrolla un tipo de competencia : el conocimiento (Okuda, 2009).

Según el modelo de aprendizaje de Edgar Dale (cono del aprendizaje ), el porcentaje de retención de ideas se modifica de acuerdo al tipo de acciones así : el aprendizaje es mínimo al leer y escuchar , medio con la observación y máximo con la simulación de experiencias reales y ejecución de actividades. Dale plantea que para recordar un alto porcentaje de los conocimientos hay que hacer una representación teatral o simular (Muro, 2011) .

La educación por simulación es una respuesta a la necesidad de proteger la seguridad del paciente y garantizar una formación continua (Corvetto, 2013) . A pesar que en los últimos años existe abundante publicación sobre la utilidad de la simulación en la educación médica, la

evidencia sobre el uso de realidad virtual como herramienta didáctica y método pedagógico especialmente en las ciencias básicas médicas todavía es escasa .

Las nuevas tecnologías de la ciencia e información se pueden agrupar en: la simulación clínica y el aprendizaje virtual con materiales multimedia o usando internet (e learning). La simulación clínica consiste en un conjunto de métodos que facilitan la adquisición de habilidades y destrezas clínicas en escenarios semejantes a los reales . El aprendizaje virtual tiene como características la inmaterialidad, interactividad, autonomía y digitalización. Es un proceso en el cual la interacción entre estudiantes y docentes esta mediada por ayudas informáticas.

Las ventajas de la educación con simulación como herramienta educativa son : mejor entrenamiento al estudiante, evaluación mas objetiva, el docente detecta errores respeta la autonomía, puede controlar , medir , perfeccionar, evaluar, proporciona ambiente controlado que permite reproducir situaciones o escenarios a demanda. Permite entrenamiento sistemático y repetido de habilidades , practicas y competencias; se puede repetir hasta adquirir la competencia o habilidad, permite equivocarse y aprender del error. El proceso de aprendizaje se basa en practica y reflexión, logrando mayor transferencia de la información desde la teoría a la practica. Permite juicio critico objetivo y aporta conciencia social, no pone en riesgo ni al estudiante ni al paciente. Permite entrenarse en situaciones clínicas poco comunes, la practica está centrada en el estudiante, las habilidades adquiridas son trasferibles a la realidad, las curvas de aprendizaje son mejores que con entrenamiento clásico, por eso es ideal para afrontar los retos de la educación médica. El entrenamiento basado en simulación permite corregir la falta de experiencia y los fallos de coordinación del trabajo en equipo, en pregrado se usa exitosamente en la enseñanza de ciencias básicas (Corvetto, 2013).

## 2.1 Antecedentes históricos

El entrenamiento basado en simulación ha sido utilizado en profesiones de alto riesgo como área nuclear , aviación, militar. Tanto los pilotos como el personal de salud interactúan con la tecnología en ambientes de riesgo que requieren decisiones rápidas, con margen de error mínimo con sobrecarga de la información captada (Serna-Ojeda, 2012) . La educación basada en simulación es utilizada formalmente desde hace 40 años en educación médica y enfermería en pre y postgrado . En la Universidad de Mc Master desde 1996 se utilizan escenarios de simulación donde el alumno aprende a realizar desde una entrevista con paciente hasta procedimientos invasivos siempre guiados .

El uso de simuladores se remonta al año 1929 cuando Edgar Link desarrolla simuladores para entrenamiento de pilotos, en los /70 se desarrollan simuladores para manejo de crisis en aviación. La era moderna de la simulación clínica arranca a mediados del siglo XX con el desarrollo de resucitacione modelo diseñado por Laerdal para el entrenamiento de resucitación cardiopulmonar dirigido a enfermeras; producido por un fabricante noruego de juguetes en asocio con un equipo de anestesiólogos. Posteriormente Abrahamson y Denson a finales de los 60 diseñan el simulador Sim One para entrenamiento en anestesia (Bradley, 2006; Rosen, 2017) . En 1980 Gravenstein y Gaba en la universidad de Standford y en la universidad de la Florida desarrollan simuladores complejos capaces de replicar ruidos cardiacos, pulsos, presión arterial, responden a administración de drogas constituyendo la base de los simuladores de alta fidelidad de la actualidad (Gaba, 2004).

La realidad virtual se introdujo por primera vez en 1991, en las dos últimas décadas se da el desarrollo de los simuladores de realidad virtual y el uso de modelos 3D, al mismo tiempo se inician los estudios sobre la utilidad de los simuladores en el desarrollo de las competencias clínicas. Actualmente los simuladores utilizan técnicas de reconstrucción 3D que incluyen propiedades hápticas (posibilidades de estímulo táctil, visual, olfativo) (Cooper & Traqueti, 2004; Gaba, 2004; Lynagh & Burton, 2007; Satava, 2008)

Según Ziv (Ziv & Wolpe, 2003) los simuladores se pueden dividir en 5 categorías: desde los simuladores de uso específico y baja tecnología, en inglés Part Task Trainer que replican una parte del cuerpo y permiten el desarrollo de habilidad psicomotora básica hasta los simuladores de paciente completo que son maniqués de tamaño real que simulan aspectos anatómicos, fisiológicos y permiten desarrollar competencias en manejo de situaciones clínicas complejas y trabajo en equipo. De acuerdo al grado con el que simulen la realidad se pueden clasificar en baja, media y alta fidelidad.

## **2.2 Experiencia internacional**

En España: Se han implementado centros de simulación que tienen laboratorios, talleres, todas las herramientas de las TIC y salas para realizar la retroalimentación. Existen 4 a destacar: fundación Lavante de la consejería de salud de Andalucía, el centro multifuncional avanzado de simulación e innovación tecnológica de Granada, el centro de cirugía mínimamente invasiva Jesús Usón en Cáceres que es el mayor centro de Europa de entrenamiento en cirugía y el centro de entrenamiento en situaciones críticas en Cantabria. Estos centros estatales de simulación trabajan en asociación con las distintas Universidades (Vazquez-Mata, 2009).

El centro de simulación médica en Israel es un centro multimodal, multi especialidad, dedicado a mejorar la calidad del cuidado médico. Usa el enfoque basado en el error ya que este provee una oportunidad de aprendizaje. Está diseñado como un hospital virtual, comprende todo el espectro de simulación médica desde pacientes simulados hasta simuladores avanzados asistidos por computador. Se han entrenado 30.000 estudiantes de todas las especialidades médicas en 100 tipos de curso diferentes. (Ziv, 2000; Ziv & Wolpe, 2003).

### **2.3 Experiencia Latinoamericana:**

En México se inicia en la década de los 80 con simuladores de alta calidad en varias universidades, posteriormente surgen centros de simulación enfocados a entrenamiento de reanimación cardiovascular básica y avanzada. En el 2003 se crea el Centro de desarrollo de destrezas médicas (CEDDEM), siendo el primer centro de su tipo en latino América con enfoque multidisciplinario para áreas médicas y quirúrgicas. Cuenta con simuladores de práctica de resucitación cardiopulmonar y paciente de estado crítico SinMan. (Serna-Ojeda, 2012)

En Chile: En el 2003 la Universidad católica comenzó con la escuela de actores que simulaban patologías, en 2004 el instituto DUOC creó el primer centro de simulación para la formación de carreras técnicas en salud. Desde el 2006 en adelante las instituciones de educación superior incorporan el uso de simuladores. En la Universidad de las Américas en el 2008 se fundó el primer centro de simulación de alta fidelidad utilizado en la carrera de enfermería en 2008 incorporando al currículum la simulación. En 2011 se forma la Sociedad Chilena de simulación clínica y seguridad del paciente (Corvetto, 2013).

En Colombia la simulación clínica surge en los años sesenta como estrategia para fortalecer el proceso de enseñanza- aprendizaje, en las facultades de medicina siendo pionera la

Universidad Nacional, seguido de la universidad de Antioquia y La universidad El Bosque en Bogotá (Afanador, 2005) . Sin embargo el uso de simuladores o modelos 3D para la enseñanza de ciencias básicas no ha sido ampliamente reportado.

### **3. Formulación del problema**

En el dominio de la medicina un ocurre un complejo proceso de aprendizaje que implica comprender procesos fisiopatológicos , desarrollar respuestas adaptativas , habilidades colaborativas y comunicativas. El aprendizaje en medicina ocurre casi siempre en la vida real aunque este no siempre es posible por costos, seguridad, reproducibilidad o didáctica. Los ambientes de aprendizaje basados en realidad virtual promueven aprendizaje significativo que permite la trasferencia del conocimiento a la vida real

Hasta ahora los estudios investigativos se han enfocado en la utilidad e implementación de la RA , pero faltan estudios enfocados a revisar que valor adiciona el uso de la realidad aumentada (RA) en el proceso de aprendizaje. Esto genera la pregunta de estudio :

¿El uso de un medio ambiente virtual con simuladores 3D es útil en la enseñanza de pregrado en medicina, el conocimiento adquirido se trasfiere a la clínica y perdura en el tiempo?

### **4. Objetivos**

#### **4.1 Objetivo General**

Determinar el marco conceptual, modelo pedagógico y la utilidad del uso de simuladores (modelos de realidad virtual 3D) para la enseñanza de ciencias básicas (anatomía cardíaca ) en estudiantes de pregrado en medicina.

## 4.2 Objetivos específicos

1. Establecer cual modelo pedagógico guarda pertinencia con un aprendizaje de ciencias básicas en la carrera de medicina basado uso de simuladores de realidad virtual
2. Determinar la utilidad del aprendizaje en medio ambiente virtual con simuladores 3D en la enseñanza de las ciencias básicas en medicina , especialmente enfocado en el área de anatomía.
3. Determinar si el conocimiento adquirido con el uso de el simulador de realidad virtual se trasfiere a la practica y si el conocimiento perdura .
4. Determinar en que grado las universidades han creado medio ambientes virtuales y han incluido en el los planes de estudio en medicina el uso de la realidad virtual en la enseñanza de ciencias básicas.

- **Simulación**

La simulación se puede definir como la búsqueda y construcción mental de cómo actuaríamos de forma competente ante situaciones familiares, sociales , científicas en las cuales nos enfrentamos en el escenario normal del diario vivir (Galindo & Visbal, 2007). En medicina Gaba define simulación como una técnica, no tecnología para sustituir o ampliar las experiencias reales a través de experiencias guiadas que evoquen o repliquen aspectos sustanciales del mundo real de una forma totalmente interactiva, crea un ambiente ideal para la educación porque las actividades pueden diseñarse para que sean predecibles , consistentes, estandarizadas, seguras y reproducibles (Gaba, 2004). En un enfoque pedagógico la simulación es un término genérico para la representación artificial de la vida real que pretende lograr metas educativas por medio del aprendizaje de experiencias (Flanagan, Nestel, & Joseph, 2004).

- **Realidad virtual.**

Se puede definir como una tecnología que integra objetos generados por computador y/o contenido virtual en el mundo real aumentando de esta forma la percepción de la realidad. Azuma expone 3 criterios comúnmente aceptados que definen la realidad virtual (Azuma et al., 2001) : combinan lo real y virtual, son interactivos en tiempo real, registra en 3 dimensiones. Según Burdeat y Coifet (Huang, Rauch, & Liaw, 2010), las características de la realidad virtual son: inmersión- interacción - imaginación.

Para conectar el mundo virtual con el mundo real se necesita un computador el cual tiene un display o pantalla a través del cual se vera la realidad. Para observar los objetos virtuales que se verán en esta pantalla como Realidad Aumentada (RA) se necesita de un software . En resumen el hardware o equipo para realidad virtual esta conformado por : un procesador, una cámara , un GPS , sensores. Con el fin de permitir que el estudiante interactúe con el ambiente virtual una serie de dispositivos de interfase son necesarios para poder ofrecer el feedback desde el simulador hacia el estudiante. Para Sherman y Craig 2003 (Huang et al., 2010) la inmersión puede ser mental o física. Esto juega un papel importante para crear una experiencia personal exitosa; el educador puede aprovechar el poder que la inmersión tiene en estimular actividades de aprendizaje (Hanson & Shelton, 2008). La tecnología tiene la propiedad de activar herramientas cognitivas que ayudan al estudiante a elaborar lo que ellos consideran que es aprendizaje significativo. Según Jonassen el medio ambiente virtual dispara la capacidad de la mente humana de percibir, imaginar y crear objetos y situaciones no existentes. (Huang et al., 2010). El proceso de inmersión puede resultar en una disminución de la carga cognitiva y un aumento de la actividad imaginativa mejorando la capacidad de conceptualizar.

Otra característica es la interacción en tiempo real, el sistema detecta las actividades del estudiante y responde inmediatamente. En los sistemas actuales no solo manipula objetos gráficos sino que puede comprometer todos los sentidos. (Kamphuis & Barsom, 2014; Milgram, Takemura, & Utsumi, 1994) . La simulación asegura mayor respeto a la seguridad e intimidad del paciente como lo requiere la Alianza mundial para la seguridad del paciente en respuesta a la resolución de la Asamblea mundial de salud de 2002 en la que urge a la OMS a conceder mayor atención a la seguridad del paciente .

- **Curva de aprendizaje**

El término curva de aprendizaje muy utilizado en ingeniería, se refiere a la relación tiempo / tasa de éxito en desarrollar una tarea , es decir al tiempo que invierte una persona desde que aprende una tarea hasta que la desarrolla con un nivel de experticia. En medicina se utiliza para contabilizar complicaciones mayores y mortalidad así como medir los tiempos de los procedimientos entre profesionales sin experiencia y el progreso que se obtiene conforme se esta se adquiere . Actualmente no es éticamente aceptable mejorar la curva de aprendizaje mediante ensayo-error, por cuanto esto implica comprometer la seguridad del paciente, por lo que es necesario explorar , definir e implementar modelos de entrenamiento del personal de salud con los que se exponga a los pacientes a menores riesgos. La enseñanza en área de la salud debe ser con seres vivos sin embargo de forma ética y legal se le debe brindar seguridad al paciente y respetar su autonomía (Ziv, 2000).

Se ha podido demostrar que el uso de los simuladores acorta el tiempo de aprendizaje de habilidades especialmente porque se puede repetir el entrenamiento tantas veces como sea necesario, las curvas de aprendizaje son mejores que con entrenamiento clásico (Lopez Araoz,

2014). Se aprende del error y este se multiplica al aprender del error de los compañeros de practica durante la sesión de retroalimentación o debriefing en la que se analiza el desempeño.

- **Competencia**

Se entiende por competencia el conjunto de actitudes, destrezas, habilidades, y conocimientos requeridos para realizar con calidad la labor profesional (Davila-Cervantes, 2014). La enseñanza de la medicina se fundamenta en la transmisión de un conjunto de saberes que se mueven alrededor de unos conocimientos, ciertas habilidades y algunas actitudes . La pirámide de Miller (Miller, 1990) es un modelo ideado en cuatro niveles de competencia profesional en medicina que son : saber, saber como, mostrar como y hacer. En la actualidad existe un amplio reconocimiento que tanto los médicos como todo el personal de la salud deben poseer una amplia gama de competencias , éstas van más allá de la simple adquisición de un conocimiento y se refieren a : trabajo en equipo, liderazgo, profesionalismo, destrezas en las relaciones interpersonales y de comunicación, toma de decisiones. Estas nuevas destrezas son difícilmente adquiridas con los métodos clásicos de enseñanza por lo que se postula que el uso de nuevas estrategias pedagógicas como las nuevas tecnologías de la ciencia y la información (TIC) facilitan el logro de las mismas (Davila-Cervantes, 2014).

Refiriéndose específicamente al campo de la medicina, el consejo de acreditación de la educación médica graduada ( ACGME ) en Estados Unidos definió seis dominios de competencia para la practica clínica medica : Cuidado del paciente, conocimiento medico, aprendizaje basado en la practica, herramientas comunicativas inter personales, profesionalismo, practica basada en sistemas

- **Trasferencia**

Se refiere a la posibilidad de habilidades y conocimientos adquiridos en un particular contexto de aprendizaje puedan ser aplicadas en otro contexto; esto es considerado un área importante de investigación en educación (Lynagh & Burton, 2007) En medicina la pregunta clave es si las habilidades adquiridas en el simulador pueden ser transferidas a la practica clínica.

La excelencia en el contexto profesional requiere entonces que las competencias adquiridas durante el entrenamiento medico puedan ser transferidas a la vida profesional.

## **5. Metodología**

El presente estudio es una revisión integrativa de la literatura científica en el cual se hace un análisis crítico de carácter descriptivo de corte cualitativo de la información recolectada elaborando matrices categoriales y cuadros comparativos . Para esto utilizando los términos de búsqueda educación (MeSH), virtual (MeSH), simulation (MeSH), simulation patient (MeSH), virtual patient (MeSH), 3D (MeSH) , educación médica y realidad virtual en Colombia (MeSH) ,se recuperaron de las bases de datos Pubmed 1257 artículos , Medline 6150 , Dialnet, Scielo 2790 artículos y en el meta buscador Google scholar 19700 artículos. Se tomaron como criterios de inclusión artículos en español o ingles de los últimos 20 años. Se revisaron además páginas Web y revistas de diferentes universidades.

Para obtener un constructo de la realidad Colombiana se revisó en la base de datos del Consejo Nacional de Acreditación (CNA) las universidades acreditadas en Colombia . Posteriormente se revisa el ranking de las mejores universidades de Colombia publicado en la revista índice de El tiempo de Octubre de 2017 basado en reputación académica, empresas que contratan a los estudiantes titulados, indicadores de investigación número de estudiantes indicadores de

internacionalización entre otros indicadores . Además se revisó en ranking de las mejores facultades de medicina publicado en la revista Dinero del 25 de Mayo de 2017 basado en las pruebas Saber PRO que además de las competencias específicas de la carrera analiza competencias genéricas. Con el listado de las 10 mejores Universidades se procedió a revisar la malla curricular en las páginas web de las universidades si se incluía dentro del plan de estudio materias utilizando medios virtuales o simulación y si contaban con aula o espacios virtuales . Se acudió a la página web de la Sociedad Colombiana de simulación clínica y a la de la Asociación Latinoamericana de simulación clínica interrogando específicamente acerca del uso de simuladores de realidad virtual , aumentada o 3D en Colombia. Se elaboró

## **6. Resultados**

### **6.1 Modelo pedagógico del uso de la realidad virtual en la enseñanza en pregrado en medicina**

En el paradigma constructivista el estudiante juega un papel activo en el proceso de aprendizaje. No solo absorbe información sino que la conecta con información previamente adquirida para construir su propio conocimiento. Dewey propuso que la educación debe ser experimental y experiencial, el conocimiento se basa en experiencia activa. Dewey considera que el principal papel de la educación es mejorar el proceso del razonamiento y la principal función del educador es facilitar un medio que favorezca el proceso de aprendizaje. Estas teorías centran en el estudiante el control del proceso de aprendizaje dándole libertad para seleccionar y coordinar sus actividades (Jonassen, 2008; Salomon & Perkins, 1989).

Los principios constructivistas son fundamentales en el momento de entender los ambientes de realidad virtual (Burdea, 1999; Chitaro & Ranon, 2007; Dimitropoulos, Manitsaris, & Mavridis, 2008). Se han diseñado 5 estrategias de aprendizaje en medios virtuales con base en principios conductistas.

1. Enseñanza centrada : Los ambientes virtuales permiten entrenar en medios reales situaciones y problemas reales en tiempo real. Un mismo objeto puede ser visto de diferentes formas dependiendo del observador es decir es centrado en el estudiante.
2. Role play o juego de funciones. El medio ambiente virtual favorece el aprendizaje a través del juego y permite la interacción con otros estudiantes mediante aplicaciones multijugador
3. Aprendizaje cooperativo/colaborativo: en grupos los estudiantes pueden cooperar , intercambiar ideas y experiencias . El medio ambiente colaborativo se puede crear cuando múltiples usuarios están dentro de un mismo espacio virtual (Sherman & Craig, 2003) En los denominados espacios multi presenciales se promueve la adaptabilidad, sociabilidad y el pensamiento crítico, así se desarrollan mayores habilidades sociales(Dimitropoulos et al., 2008).
4. Aprendizaje basado en problemas: Resolver problemas es una habilidad critica del proceso de aprendizaje. En el medio ambiente virtual se pueden diseñar los problemas o tareas específicas. Induce el pensamiento creativo y promueve el trabajo colaborativo
5. Aprendizaje creativo. Es el centro del aprendizaje basado en problemas se puede asociar a estrategias como el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje colaborativo.

La tecnología educativa tiene el potencial de ofrecer un escenario seguro, reproducible , costo efectivo en el cual se puede entrenar tareas completas de la vida real. En este

ambiente controlado el estudiante puede aprender de sus errores sin las consecuencias adversas del mismo y el profesor puede centrarse en el estudiante mas que en el paciente (Kamphuis & Barsom, 2014).

Un tema importante no analizado es la motivación , definida como un estado interno que activa, guía y mantiene el comportamiento. La motivación es un factor cognitivo mayor que condiciona el aprendizaje. Limniou et al. demostraron que con medio ambientes virtuales con inmersión en 3D se estimula el interés y la motivación comparado con ambientes 2D (Limniou, Roberts, & Papadopoulos, 2008). A través de la motivación y repetición el medio ambiente virtual ayuda a mejorar la retención del conocimiento (Burdea, 1999) .

Uno de los puntos más importantes del aprendizaje basado en simulación es que al finalizar cada sesión el docente debe realizar una sesión retroalimentación o feedback analizando críticamente la experiencia . Se ha postulado que el aprendizaje por simulación , se puede asociar a otras técnicas pedagógicas como el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en grupos y la Evaluación Clínica Objetivo Estructurada (ECO)E) . (Corvetto, 2013; Issenberg, McCague, Petrusa, Gordon, & Scalese, 2005; Vazquez-Mata, 2009).

## **6.2 Utilidad del uso de simuladores de realidad virtual 3D en la enseñanza de las ciencias básicas en estudiantes de pregrado de medicina**

Para analizar la utilidad de los simuladores de realidad virtual 3D en la enseñanza de las ciencias básicas, se enfocó la revisión de la literatura en la enseñanza de la anatomía. La forma tradicional de enseñanza de la anatomía se basa : Disección anatómica , clases magistrales, libros y Atlas 2D; en las pasadas dos décadas hay un creciente numero de publicaciones del uso de

modelos de realidad virtual 3D para el uso de la enseñanza de la anatomía. (Merriënboer & Kirschner, 2007)

Antes de avanzar en el tema es necesario aclarar algunas estrategias didácticas utilizadas tradicionalmente en la enseñanza de la anatomía. Se entiende por disección la exploración sistemática de un cadáver humano preservado para la separación secuencial de los tejidos y liberación de ciertas estructuras removiendo grasa y tejido conectivo con el fin de apoyar el proceso de aprendizaje de la anatomía por experiencia visual y táctil. En esta definición el estudiante tiene un papel activo.

Prosección se refiere al estudio de cadáveres o especímenes preparados por otro. Tiene la ventaja de exponer directamente la estructura que se desea enseñar evitando el daño en el cadáver que ocurre cuando se realiza una disección por personas inexpertas y el gran costo que ello implica, con la gran desventaja de privar al estudiante del efecto que en términos de duración de conocimiento puede dar el estímulo visual y táctil de la disección.

No hay estudios que logren discriminar acerca de las posibilidades de aprendizaje tales como habilidades manuales y todos se enfocan en la adquisición del conocimiento anatómico (enseñanza en el dominio cognitivo).

Existe un creciente interés de los educadores médicos en introducir aplicaciones de computador en los currículos de medicina para aumentar o incluso reemplazar los métodos tradicionales como clase magistrales, lecturas, libros de texto. De hecho muchas universidades no incluyen en su currículo disección con cadáveres, incluyendo 8/11 universidades en Australia (Parker, 2002) argumentando que el manejo de cadáveres es costoso, y hay franca disminución de la disponibilidad. En casos específicos la disección en cadáver es inefectiva (como la enseñanza de estructuras específicas como el oído medio por el tamaño y disposición en el cuerpo. Una alternativa es el uso de modelos de realidad aumentada (3D).

Algunos estudios de han analizado la efectividad de los simuladores 3D en la enseñanza de la anatomía : Brewer et al mostró en un estudio experimental que el uso de laboratorios 3D además de disección tradicional puede mejorar el aprendizaje en estudiantes de neuroanatomía, la cual tiene estructuras muy complejas en su interrelación y difíciles en la disección. (Brewer, Wilson, Eagleson, & De Ribaupierre, 2012), los estudiantes en el grupo estudio en una prueba multi test obtuvieron puntajes mas altos que en el grupo control (80% vs 65%). Nicholson en la universidad de Mc Gill en Canadá obtuvo resultados similares en un modelo 3D de la anatomía del oído interno construido basado en imágenes de RMN, los estudiantes que tomaron el laboratorio basado en modelos 3D obtuvieron mejores puntajes (83% vs 65%) (Nicholson, Funnell, et al., 2006). Donnelly et al en su estudio comparo el uso del software Virtual Human disector contra un grupo control con educación tradicional basada en prosección y disección. Demostró que el uso del software fue tan efectivo como el uso de la disección (Donnelly, Patten, White, & Finn, 2009). Tam et al demostró que el uso de modelos 3D auto dirigidos no requieren guías y el estudiante aprende en sus propios tiempos (Tam et al., 2010). Se ha demostrado que en educación de postgrado estos modelos 3D son seguros y efectivos en la enseñanza de habilidades en campos cruciales de anatomía quirúrgica (Blum, Powers, & Sundaresan, 2004). Codd en un estudio investigativo comparo la clase de anatomía de brazo en dos grupos con y si ayuda de 3D. Encuentra que el puntaje total es mayor en el grupo que uso 3D. Lo que evidencia que es un método valido para la enseñanza (Codd & Choudhury, 2011) . Este resultado es consistente con otros estudios: (Hallgren et al., 2002) , (Elizondo-Umaña et al., 2004), (Nicholson, Chalk, Funnell, & Daniel, 2006)

Winkelman realiza una revisión sistemática de la literatura encontrando 14 estudios que cumplían los criterios de inclusión. Un solo estudio comparo el uso del método clásico basado en libro y disección contra otro grupo de estudiantes que exclusivamente utilizaron modelos

virtuales 3D. Por lo que no se puede sacar ninguna conclusión firme al respecto (Winkelmann, 2007). Sin embargo Stanford mostro en su experimento que la combinación de enseñar anatomía cardiaca usando disección y adicionar programas de computador fue mejor que cualquier método por separado (Stanford et al., 1994).

En contraste con los anteriores resultados, Nicholson en un búsqueda bibliográfica de 1965 a 2005, encontraba solo 4 estudios ramdomizados, 3 de estos fueron realizados por un mismo autor GARG y col en 1999,2000 y 2001 en los cuales se evaluó la eficacia de la educación formal comparados con el uso de modelos 3D en anatomía del carpo. Concluye que el uso del modelo 3D ofrece ventajas mínimas e incluso puede ser una desventaja para aquellos que no tengan buena habilidad espacial (Nicholson, Funnell, et al., 2006).

Harriri no encontró beneficios en el uso de modelos 3D en la enseñanza de anatomía de los huesos del carpo (Harriri, Rawn, Srivastava, Youngblood, & Ladd, 2004). Muchos de los estudios que tienen resultados negativos o equívocos respecto al uso de las nuevas tecnologías como la realidad virtual y modelos 3D pudo haber sido por mal diseño del estudio; por ejemplo en el estudio de Harriri la población investigada fueron solo 29 estudiantes es decir no tenía poder estadístico (Harriri et al., 2004). En el estudio de Garg, se utilizó un modelo de 3D que no es completamente interactivo y no permite rotar las estructuras óseas en todas las dimensiones (Garg, 2001). Algunos estudios encuentran también que la realidad virtual se compara favorablemente con los libros pero no con la disección en cadáver (Peterson, Sinkvist, Wang, & Smedby, 2009)

Se ha postulado que se puede utilizar este modelo para enseñanza de histología biología celular , así como para dominios no médicos. Boude O y Celis L publican su experiencia en la Universidad de la Sabana en donde realizan un cambio curricular introduciendo una

nueva materia llamada telemática la metodología es un aprendizaje basado en proyectos. Uno de los proyectos fue utilizando un software previamente diseñado, desarrollar en el área específica de la genética la explicación del tema genoma humano en medio ambiente virtual de manera completa y actualizada. Esta exitosa experiencia conjuga el aprendizaje basado en problemas , aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje colaborativo (Boude & Celis, 2007). Ver Tabla Número 1 y 2.

**Tabla 1**  
**Estudios que soportan el uso de simuladores de Realidad Virtual**

<b>Autor</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>resultado</b>	<b>Conclusión y comentarios</b>
Brewer 2012	Experimental Compara uso de laboratorios 3D vs enseñanza tradicional en neuroanatomía	Grupo de estudio 80% vs 65% tradicional	Uso de laboratorio 3D es útil en la enseñanza de la neuroanatomía. El simulador es útil en la enseñanza de estructuras anatómicas complejas
Tam 2010	Experimental		El uso de tecnología 3D es autodirigido, autoguiado y el estudiante aprende a su ritmo
Codd 2011	Experimental Compara estudio de anatomía del brazo con y sin ayuda de simulador 3D	Estudiantes en el Grupo con simulador 3D tienen puntaje mayor en las pruebas	El uso del simulador 3D es útil en la enseñanza de la anatomía del brazo es útil
Nicholson 2006	Experimental Compara estudio de la anatomía del oído interno con y sin simulador 3D	El grupo con simulador 3D obtiene resultados mejores (83%vs 65% del grupo control)	El uso del simulador en caso de estructuras anatómicas complejas es útil comparados con la enseñanza clásica
Donnelly 2001	Experimental . Compara el uso del software: virtual human disector vs enseñanza tradicional	No se encuentran diferencias mayores entre grupo estudio y control	El uso del software es al menos tan efectivo como la enseñanza tradicional con cadáver
Stanford 1994	Experimental Anatomía Cardíaca . Compara la adición de simuladores de anatomía	Compara 3 grupos , educación básica , educación con simulador y educación combinada	Adicionar realidad virtual a la enseñanza tradicional de anatomía cardíaca es superior a cualquier método aislado
Otros estudios: Hallgran 2002 Elisondo- Umaña2004	Experimentales		Favorecen el uso de la simulación 3 D

Fuente : Elaboración propia

**Tabla 2**  
**Estudios que no demuestran utilidad con el uso de la simulación de RV**

<b>Autor</b>	<b>Tipo de Estudio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Conclusiones</b>
Winkelman 2007	Revisión sistemática 14 estudios 1 solo compara uso de disección anatómica vs 3D	De los 14 estudios analizados en el estudio 1 solo compara las dos modalidades	Aunque el estudio reporta que no existen diferencias entre las dos modalidades , no es concluyente por incluir solo 1 RCT.
Harriri 2004	Experimental Compara enseñanza tradicional vs uso de simuladores 3D en anatomía	No se encuentra beneficios con el uso del simulador	Este estudio no encuentra beneficios sin embargo la muestra estudiada es muy pequeña : 29 estudiantes por lo que no se puede inferir nada
Garg 1999-2000-2001	3 estudios experimentales . Compara enseñanza de anatomía de huesos del carpo con y sin simulador	No se encuentra ningún beneficio con el uso del simulador 3D	En este estudio se utilizó un simulador de primera generación que no permitía rotar las estructuras .
Kneebone 2002-2004	Experimental	El uso de simuladores 3D puede ser potencialmente peligroso	Estudio metodológicamente mal diseñado.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 Trasferencia

El uso de simuladores se ha extendido , a pesar de esto la transferencia de habilidades quirúrgicas desde el simulador hacia la vida real se ha demostrado en relativamente pocos estudios incluyendo cirugía laparoscópica, broncoscopia, intubación oro traqueal. (Blum et al., 2004; Naik, Matsumoto, & Houston, 2001; Park et al., 2007; Seymour, Gallagher, & Roman, 2002). En contraste un numero de estudios no ha encontrado beneficios clínicos con el entrenamiento previo en simulador. (Prystowsky, Regehr, & Rogers, 1999) no demostró mejoría en la capacidad de colocar catéteres venosos . Otros estudios muestran mayor grado de satisfacción del estudiante pero igual desempeño (Engum, Jeffries, & Fisher, 2003).

Usando un diseño ramdomizado y ciego Park en la universidad de Toronto demostró que el uso de simulador 3D se asocia a una mejoría leve pero significativa del score (Park et al.,

2007). El resultado de este estudio se baso en el estudio previo de Sedlack y Kollars (Sedlack & Kollars, 2004) quienes también demostraron mejoría del desempeño clínico haciendo entrenamiento previo con simulador 3D para practica de colonoscopias. Toda la evidencia apunta a que el uso de simulador confiere beneficios en la practica del procedimiento de endoscopia. De esta forma se ha demostrado que si existe Tránsito de las habilidades adquiridas.

Marita Lynagh realiza una revisión de la literatura de artículos relevantes de 1998 a 2006. De los 44 RCT encontrados el 70% (32) demuestran mejoría en las habilidades adquiridas con el uso de simuladores, solo 40% estudian el grado de transferencia y solo 2 estudios analizan el grado de retención del conocimiento a 4 meses (Lynagh & Burton, 2007). Dos estudios sistemáticos han evaluado la efectividad del uso de los simuladores o realidad virtual. El Australian Safety and efficacy register en 2003 se enfoco en la utilidad de los simuladores quirúrgicos evaluando 23 artículos Randomizados (RCT) (Sutherland, 2003) demostró que el uso del simulador comparado con modelos 2D una leve mejoría en las habilidades pero no convincentemente superior. Sin embargo la calidad de la evidencia fue calificada como pobre haciendo la comparación imposible . Al menos un estudio demostró que el simulador no transfiere un mejor desempeño clínico (Lynagh & Burton, 2007; Paisley, Baldwin, & Paterson-Brown, 2001). Otros estudios han hablado del potencial peligro de enseñar habilidades para un procedimiento sin utilizar el ámbito clínico (Kneebone, Kidd, Nestel, Asvall, & Paraskevas, 2002; Kneebone, Scott, Darzi, & Horrocks, 2004; Lynagh & Burton, 2007) En conclusión existe consenso en cuanto a la mejoría del conocimiento adquirido y habilidades y a la transferencia de dicho conocimiento con el uso del simulador comparadas con el entrenamiento estándar, aunque la mayoría de los estudios son metodológicamente incorrectos por mal diseño o por muestra muy pequeña o por

uso de simuladores no adecuados. Evidencia de superioridad de simuladores de alta complejidad sobre aquellos de menor complejidad o 2 D es muy débil.

En cuanto al grado de retención del conocimiento solo 2 ensayos lo evaluaron y parece que el uso del simulador muestra mantenimiento del conocimiento y las habilidades quirúrgicas a 4 meses, mientras que otro estudio demuestra que hay deterioro de las habilidades (Lynagh & Burton, 2007) (Gorman, Meier, Rawn, & Krummel, 2000). En la revisión realizada no se encontraron estudios que analizaran el tema de la permanencia del conocimiento impartido con simuladores de realidad virtual en el área de las ciencias básicas. Ver Tabla Número 3.

Tabla 3

**Resumen de artículos que analizan transferencia de conocimiento o habilidades adquiridas con simulador**

<b>Estudios</b>	<b>Resultado</b>	<b>Comentario</b>
Blumm 2004, Naik 2001, Park 2007, Seymour 2007	Analizan entrenamiento de diferentes habilidades clínicas con simulador : Broncoscopia, colonoscopia, intubación endotraqueal, cirugía laparoscópica	Demuestran una adecuada trasferencias de habilidades clínicas adquiridas en simuladores
Engum 2003	No hay mejoría significativa de habilidades con el simulador	A pesar de no haber diferencias los estudiantes reportan mayor satisfacción
Sutherland 2003	Australian safety efficacy register. Revisión sistemática de 23 RTC.	El uso de simulador 3D ofrece leve superioridad sobre 2D no convincentemente superior
Lynagh 2007	Revisión sistemática 98-2006 44 RCT . 70% reportan mejoría de habilidades con entrenamiento previo con simulador	Solo 40% analizan transferencia y solo 2 estudian retención del conocimiento a 4 meses

Fuente : Elaboración propia

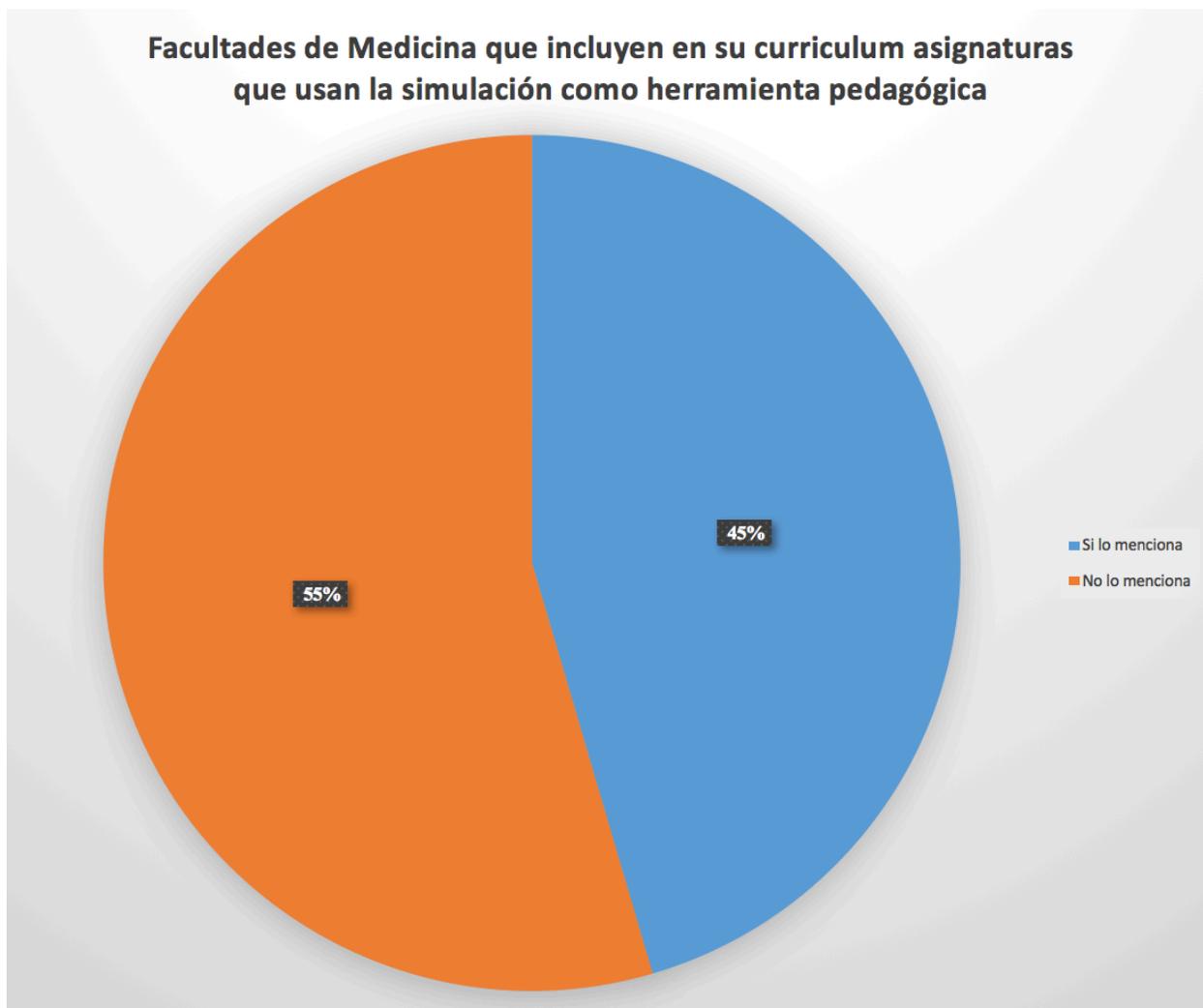
#### **6.4 Uso de recursos virtuales en la enseñanza de pregrado en medicina en Colombia**

Los hallazgos del estado actual del uso de recursos virtuales en la educación virtual en Colombia se sintetizan en la Tabla número 4 y Gráfico número 1.

**Tabla 4****Uso de recursos virtuales en la enseñanza de pregrado en medicina en Colombia**

<b>Universidad</b>	<b>Incluye simulación en el Curriculum</b>	<b>Cuenta con simuladores de realidad virtual</b>	<b>Comentario</b>
1. Andes	SI	SI	Sistema interactivo de cursos, laboratorio de anatomía y habilidades virtual. Tiene cargo coordinador de simulación
2. Valle	NO	NO	
3. ICESI	SI	SI	Esta incluido en la misión. Desde los primeros semestres practicas en modelo avanzado de simulación
4. Nacional	NO	SI	Convenio de apoyo interinstitucional con Fundación Insimed (centro de simulación). Laboratorio de RV de la.
5. Antioquia	SI	SI	Centro de simulación en IPS Universitaria. Simulación no realidad virtual
6. CES	NO	SI	CEMPAS. Centro de entrenamiento medico. No realidad virtual
7. Javeriana	NO	SI	Laboratorio de simulación, incluye realidad virtual
8. Rosario	SI	SI	Practica de 6 semanas en simulación morfología en Primer año.
9. UIS	NO	SI	Dispone de Aula virtual
10. UMNG	NO	SI	Centro de Realidad virtual
11. Sabana	SI	SI	Centro de Simulación y RV

Fuente: Elaboración propia

**Figura 1**

Fuente: Elaboración propia

A pesar que 100% de las facultades indagadas reportan áreas para el aprendizaje virtual, en el 55% de las universidades no esta incluida en el plan curricular oficial el uso de dichos espacios virtuales .

## **7. Discusión**

La investigación en simulación clínica ha crecido vertiginosamente. La evidencia hasta la fecha no es suficientemente fuerte para tener claridad del impacto de la simulación. Aunque la mayoría de estudios muestran muy poca superioridad de los modelos digitales sobre el material escrito o 2D, si hay evidencia que los modelos 3D en conjunto con métodos tradicionales de enseñanza son útiles (Huang et al., 2010; Murgitroyd, Marduska, Gonzalez, & Watson, 2014). Aunque el valor de la disección cadavérica es ir replicable la tecnología digital sin duda facilita la enseñanza de la anatomía . Los modelos 3D mejoran la comprensión de estructuras anatómicas complejas , sus relaciones espaciales , mejoran las habilidades motoras , la coordinación mano ojo, se asocia un factor muy poco investigado, la motivación. Todos los estudios concuerdan en que la simulación especialmente los escenarios virtuales con reconstrucción 3D tienen un fuerte impacto en la motivación del estudiante . Esta experiencia se ha extendido a otras áreas de las ciencias básicas en la enseñanza de pregrado en medicina. En Colombia las universidades han realizado un esfuerzo en la implementación de estos escenarios para simulación de realidad virtual que implica costosas inversiones en infraestructura y preparación de personal, sin embargo se nota que falta mayor aceptación a nivel curricular .

## **8. Conclusiones**

Con los avances tecnológicos actuales , un medio de enseñanza y ambiente de aprendizaje en constante cambio, la aparición de un sinnúmero de aplicaciones digitales que están siendo implementadas en la educación de pre y postgrado en el currículo de medicina. Las tecnologías de la información TIC intervienen en los modos de aprendizaje, introducen elementos nuevos en la educación , transforman el acceso al conocimiento y las formas de aprendizaje y de la

comunicación. Hasta el momento la investigación empírica en realidad virtual ha sido enfocada hacia su uso, aplicabilidad e implementación y se ha investigado muy poco sobre las posibilidades que la RA ofrece en aumentar las características motivacionales, potenciar el desarrollo de actividades psicomotoras , desarrollar la capacidad de visualizar lo invisible llevando a un aumento de la comprensión conceptual. Muchos de los estudios desde el 2010 han sido mal diseñados, o con un numero de pacientes insuficientes por lo que tienen resultados contradictorios siendo imposible sacar conclusiones firmes. El presente estudio motiva la realización de futuras investigaciones que aclaren el papel real del uso de simuladores de realidad virtual en la enseñanza de las ciencias básicas en medicina .

## **9. Agradecimientos**

Quiero dejar expreso agradecimiento a las personas sin las cuales hubiera sido imposible la realización de este trabajo. A Sandra Jaramillo por la ayuda en el enfoque de la investigación . A mi hijo Nicolás por su invaluable ayuda, por haberle robado tiempo a sus horas de estudio para dedicarse a ayudarme y a Angela mi esposa por su paciencia y amor .

## **10. Referencias Bibliográficas**

- Afanador, A. (2005). Aproximación peddagógica de la simulación clínica. *Universitas Medica*, 51(2), 204–211.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Comput Graph*, 21(6), 34–47.
- Baker, G. (2004). The Canadian adverse events study: the incidence of aderse events among hospital patients in Canada. *CMAJ*, 170, 1678–1686.
- Blum, M., Powers, T., & Sundaresan, S. (2004). Bronchoscopy simulator effectively prepare

- junior residents to completely perform basic clinical bronchoscopy. *Annals of Thoracic Surgery*, 78, 287–291.
- Boude, O., & Celis, L. (2007). Nuevas tecnologías aplicadas a la educación : *Educación Y Educadores*, 10(2), 165–173.
- Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical Education*, 40, 254–262.
- Brewer, D., Wilson, T., Eagleson, R., & De Ribaupierre, S. (2012). Evaluation of neuroanatomical training using a 3D visual reality model. *Stud Health Technol Inform*, 85–91.
- Burdea, G. (1999). *haptic feedback for virtual reality, keynote address of Proceedings of international workshop on virtual prototyping*. Laval - France.
- Chitaro, L., & Ranon, R. (2007). Web 3D technologies in learning education and training: motivations, issues, oportunities. *Computers & Education*, 49, 3–18.
- Codd, A. M., & Choudhury, B. (2011). Virtual Reality Anatomy : Is it Comparable with Traditional Methods in the Teaching of Human Forearm Musculoskeletal Anatomy ?, *125*(June), 119–125. <https://doi.org/10.1002/ase.214>
- Cooper, J. B., & Traqueti, V. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *Qual Saf Health Care*, 13(suppl 1), i11–i18.
- Corvetto, M. (2013). Simulación en educación medica: una sinapsis. *Rev Med Chile*, 141, 70–79.
- Davila-Cervantes, A. (2014). Simulación en educación médica. *Investigación En Educación Médica*, 3(10), 100–105.
- Dimitropoulos, K., Manitsaris, A., & Mavridis, I. (2008). Building virtual reality enviroments for distance education on the web. A case study in medical education. *International Journal of Socical Sciences*, 2(1), 62–70.

- Donnelly, L., Patten, D., White, P., & Finn, G. (2009). Virtual human dissector as a learning tool for studying cross-sectional anatomy. *Med Teach*, *31*, 553–555.
- Elizondo-Umaña, R., Morales-Gomez, J., Guzman, S., Hernandez, I., Ibarra, R., & Vilche, F. (2004). Traditional teaching supported by a computer -assisted learning for macroscopic anatomy. *Anat Rec*, *278B*, 18–22.
- Engum, S., Jeffries, P., & Fisher, L. (2003). Intravenous catheter training system. *Am J Surg*, *186*, 67–74.
- Flanagan, B., Nestel, D., & Joseph, M. (2004). Making patient safety the focus: crisis resource management. *Medical Education*, *38*, 56–66.
- Gaba, D. (2004). The future vision of simulation in health care. *Qual Saf Health Care*, *13*(Suppl 1), i2-10.
- Galindo, J., & Visbal, L. (2007). Simulación, herramienta para la educación. *Salud Uninorte*, *23*(1), 79–95.
- Garg, A. (2001). How medical students learn spatial anatomy. *Lancet*, *357*(9253), 363–364.
- Gorman, P. J., Meier, A. H., Rawn, C., & Krummel, T. M. (2000). Future of medical education is no longer blood and gutsnit is bits and bytes. *Am J Surg*, *180*, 353–356.
- Hallgren, R., Parkhurst, P., Monson, C., & Crewe, N. (2002). An interactive web- based tool for learning anatomic landmarks. *Academic Medicine*, *77*(3), 263–265.
- Hamza-Lup, F., Santhanam, A., Imielinska, C., Meeks, S., & Rolland, J. (2007). Distributed augmented reality with 3D lungs dynamics. *IEEE Trans Info Technol Biomed*, *111*(1), 40.
- Hanson, K., & Shelton, B. (2008). Design and development of virtual reality: analysis of challenges face by educators. *Educational Technology & Society*, *11*(1), 118–131.
- Harriri, S., Rawn, C., Srivastava, S., Youngblood, P., & Ladd, A. (2004). Evaluation of surgical simulator for learning clinical anatomy. *Medical Education*, *38*(8), 896–902.

- Huang, H., Rauch, U., & Liaw, S. (2010). Computers & Education Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments : Based on a constructivist approach, 55, 1171–1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>
- Issenberg, S., McCague, W., Petrusa, E., Gordon, D., & Scalese, R. (2005). Features and use of high fidelity medical simulations that lead to effective learning : a BEME systematic review. *Med Teach*, 27, 10–28.
- Jonassen, D. (2008). *Meaning learning with technology*. (Pearson, Ed.).
- Kamphuis, C., & Barsom, E. (2014). Augmented reality in medical education? <https://doi.org/10.1007/s40037-013-0107-7>
- Khon, L. (1999). *To err is human: building a safer health system*. (N. A. Press, Ed.). Washington.
- Kneebone, R., Kidd, J., Nestel, D., Asvall, S., & Paraskevas, R. (2002). An innovative model of teaching and learning clinical procedures. *Medical Education*, 36, 628–34.
- Kneebone, R., Scott, W., Darzi, A., & Horrocks, M. (2004). Simulation and clinical practice; stretching the relationship, 38, 32–38.
- Limniou, M., Roberts, D., & Papadopoulos, N. (2008). Full immersive virtual environment in chemistry education. *Computers & Education*, 51, 584–593.
- Lopez Araoz, A. (2014). Rol e importancia de la simulación en la educación médica y broncoscópica. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 4, 362–364.
- Lynagh, M., & Burton, R. (2007). A systematic review of medical skills laboratory training: where to from here. *Medical Education*, 41, 879–887.
- Merriënboer, J., & Kirschner, P. (2007). *Ten steps to complex learning, a systematic approach to four component instructional design*.
- Milgram, P., Takemura, H., & Utsumi, F. (1994). Augmented reality: a class of displays on the reality -virtual continuum. *Proceedings of Telem manipulator and Telepresence Technologies*,

2351, 282–292.

Miller, G. (1990). The assesment of clinical skills/competence/performance. *Academic Medicine*, 65, s63–s67.

Murgitroyd, E., Marduska, M., Gonzalez, J., & Watson, A. (2014). ScienceDirect The Surgeon , Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland 3D digital anatomy modelling e Practical or pretty ?, 2–5.

Muro, J. (2011). Simulación como solución a las nuevas necesidades del mundo sanitario. *Educ Med*, 14(2), 91–99.

Naik, V., Matsumoto, E., & Houston, P. (2001). Fiberoptic orotracheal intubation on anesthetized patients: do maipulation skills learned on a simple model transfer into operating room? *Anesthesiology*, 95, 343–348.

Nicholson, D. T., Chalk, C., Funnell, W. R. J., & Daniel, S. J. (2006). undergraduate education Can virtual reality improve anatomy education ? ear model, (503), 1081–1087.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02611.x>

Nicholson, D. T., Funnell, W. R. J., & Daniel, S. J. (2006). Can virtual reality improve anatomy education? a ramdomised controlled study of a computer-generated three dimensional anatomical ear model. *Medical Education*, 40, 1081–1087.

Okuda, J. (2009). The utility of simulation in medical education.What is the evidence. *Mount Sinai Journal of Medicine*, 76, 330–343.

Paisley, A., Baldwin, P., & Paterson-Brown, S. (2001). Validity of surgical simulation for the assesment of operative skills. *Br J Surg*, 88, 1525–1532.

Park, J., Ed, M., Macrae, H., C, F. R. C. S., Musselman, L. J., Ed, M., ... S, F. A. C. (2007). Randomized controlled trial of virtual reality simulator training : transfer to live patients, 194, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2006.11.032>

- Parker, L. (2002). What's wrong with the dead body? Use of human cadaver in medical education. *Med J Aust*, *176*, 74–76.
- Peterson, H., Sinkvist, D., Wang, C., & Smedby, O. (2009). Web based interactive 3D visualisation as a tool for improved anatomy learning. *Anat Sci Edu*, *2*, 61–68.
- Prystowsky, J., Regehr, G., & Rogers, D. (1999). A virtual reality module for intravenous catheter placement. *Am J Surg*, *177*, 171–175.
- Rosen, K. R. (2017). The history of medical simulation, (2008), 157–166.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2007.12.004>
- Salomon, G., & Perkins, D. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon. *Educ Psychol*, *24*, 113–42.
- Satava, R. (2008). Historical review of medical simulation-A personal perspective. *World J Surg*, *32*, 141–148.
- Sedlack, R., & Kolars, J. (2004). Colonoscopy, Computer simulator training enhances teh competency of gastroenterology fellows at colonoscopy: results of a pilot study. *Am J Gastroenterol*, *99*, 33–37.
- Serna-Ojeda, J. (2012). La simulación en medicina: La situación en México. *Cir Cir*, *80*, 301–305.
- Seymour, N., Gallagher, A. G., & Roman, S. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results fo a ramdomized double blinded study. *Ann Surg*, *236*, 458–463.
- Sherman, W., & Craig, A. (2003). *Understanding virtual reality*. (M. Kaufmann, Ed.). New York.
- Stanford, W., Erkonen, W., Casselli, M., Moran, B., Easley, G., Carris, R., & Albanese, M. (1994). Evaluation of a computer-based programme for teachng cardiac anatomy. *Invest Radiol*, *29*, 248–252.

Sutherland, L. (2003). *Australian Safety and Effective Registry of New Interventional Procedure.*

*Surgical Simulation a systematic review.*

Tam, M., Hart, A., Williams, S., Holland, R., Heylings, D., & Leinster, S. (2010). Evaluation of a computer program (disect) to consolidate anatomy knowledge: a randomised -controlled trial. *Med Teach*, 32, e 138-142.

Vazquez-Mata, G. (2009). El entrenamiento basado en la simulación como una necesidad imprescindible en la formación médica. *Educ Med*, 12(3), 149–155.

Winkelmann, A. (2007). teaching methods Anatomical dissection as a teaching method in medical school : a review of the evidence. *Medical Education*, 41, 15–22.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02625.x>

Ziv, A. (2000). Patient safety and simulation -based medical education. *Med Teach*, 22, 489–495.

Ziv, A., & Wolpe, P. (2003). Simulated-based medical education an ethical imperative. *Academic Medicine*, 78(6), 783–788.

