

NUEVAS TECNOLOGIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA CIVIL: BIM Y REALIDAD VIRTUAL

D'paola Puche, Emilio Humberto

RESUMEN

El presente artículo es el resultado de una búsqueda de los trabajos, investigaciones y aplicaciones de la realidad virtual y la metodología de trabajo BIM (Building Information Modeling) en la industria de la construcción, los centros de investigación y la academia, con el propósito sustentar la importancia y necesidad de su inclusión como parte fundamental dentro de los currículos y contenidos programáticos de la academia, en lo que corresponde a la enseñanza de la Ingeniería civil, como nuevas tecnologías para responder con innovación, creatividad y competitividad a las nuevas economías del conocimiento.

PALABRAS CLAVES

TIC, BIM, Realidad Virtual, Enseñanza, Ingeniería Civil, Construcción

ABSTRACT

This paper is the result of a search research and applications of virtual reality and BIM methodology (Building Information Modeling) in the construction industry, research centers and academia, for the purpose of give support to the importance of its inclusion as a fundamental part of the academic programa in civil engineering education, and new technologies to respond with innovation, creativity and competitiveness to new knowledge economies.

KEYWORDS

ICT, BIM, Virtual Reality, Education, Civil Engineering, Construction

1. INTRODUCCIÓN

En la actual era de la información y las telecomunicaciones las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC)¹ hacen parte esencial en el desarrollo económico de los países. En las llamadas economías del conocimiento, donde un aspecto importante de medida de la calidad de vida es el conocimiento, la educación juega un papel importante, comprometiendo a los países a formar actores innovadores, creativos y competitivos [1], y a encaminar sus esfuerzos en la calidad y pertinencia del sistema educativo, su cobertura en todas las etapas de la formación, a generar interés en la sociedad en actividades científicas y tecnológicas, particularmente de investigación y desarrollo (I+D) y en la construcción de la capacidad de innovación, además de la articulación del sector productivo de bienes y servicios con las universidades y centros de investigación. [1]

Algunos países han realizado una serie de inversiones públicas y privadas encaminadas a generar economía del conocimiento y le han apostado a incluir nuevas tecnologías a nivel educativo, aumentando la cobertura en el acceso a internet y generando programas para la inclusión de las TIC en todos los ámbitos de la sociedad. Tal es el caso de Colombia donde se creó el ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) en el año 2009 [2], y donde se han

¹ Conjunto diverso de tecnologías y recursos utilizados para comunicarse y para crear, difundir, almacenar y administrar información.

adoptado políticas públicas como el plan nacional de TIC 2008-2019, y los planes vive digital y Colombia aprende del ministerio, entre otros. De ahí que las TIC están adquiriendo el carácter de imprescindible en los tiempos actuales, por la alta competencia en la enseñanza superior, las demandas de calidad, y la globalización en el acceso. [3]

Sin embargo las TIC no son solo conexión a internet ni dispositivos móviles; son además tecnologías que se usan para la gestión y transformación de la información y el uso de ordenadores y programas que permiten crear, modificar, almacenar, administrar, proteger y recuperar información. De ahí que su inserción en el ámbito educativo no es solo la creación de salas y clases de sistemas y conectividad dentro de las aulas; su inclusión debe ir encaminada a la planeación y diseño de la enseñanza, donde uno de los elementos indispensables del diseño, es la previsión, organización y producción de recursos didácticos. [4]

Más allá del acceso al internet, existen numerosas herramientas de enseñanza que traen estas nuevas tecnologías de la información y la comunicación. Tal es el caso de los hipertextos, la realidad virtual, la realidad aumentada, los videojuegos y juegos serios, entre otros; todos ellos con un gran potencial para ser usados en la enseñanza y facilitar la comunicación entre profesor y alumno.

A nivel de la educación superior, la incorporación de las tecnologías de información y comunicación, es algo que se ha propuesto en diferentes estudios y hoy en día es una realidad. Sin embargo, aún los discursos que rodean a los medios digitales aplicados a la educación se polarizan en torno a dos visiones, una utópica y otra distópica; esta última entendida como la resistencia y miedo a lo desconocido y la utopía que glorifica y eleva la tecnología como panacea para los problemas sociales o nuestras limitaciones físicas [5].

La resistencia de algunos docentes al cambio se presenta aun con mucha fuerza en las academias, incluso en las de nivel superior donde la planta del profesorado es de un elevado nivel educativo, estas nuevas tecnologías traen consigo muchas expectativas a los docentes, que en algunos casos son negativas. Se cree que a nivel educativo el profesor está siendo desplazado por la tecnología o que estas son nichos de vagancia o herramientas que incentivan la ley del menor esfuerzo; sin embargo existe otro grupo de docentes que ven en las nuevas tecnologías una herramienta para dar su formación y obtener los objetivos deseados, los cuales se adaptan al cambio adquiriendo nuevas habilidades y capacidades para su manejo y servicio, logrando así obtener nuevas herramientas para impartir conocimiento y lograr una comunicación asertiva entre él y los alumnos, de ahí que la incorporación de las TIC en la docencia universitaria se venga dando de manera natural, por medio de la motivación de algunos académicos que las incorporan como apoyo al proceso de enseñanza tradicional. [3]

Las principales tecnologías con aplicación en la enseñanza universitaria que más están siendo utilizadas por los docentes en su trabajo diario son el correo electrónico, el chat, las video conferencias, y la telefonía internet, pero no son únicas. También se vienen desarrollando en los últimos años, los Blogs², las Wikis³, los Podcasting⁴, las aplicaciones web⁵, las redes sociales⁶, la

² Sitio Web que recoge una serie de pequeños artículos (posts) presentados en orden cronológico inverso, cuyas características son la flexibilidad en la gestión de contenidos, la facilidad de uso, las posibilidades de personalización y la interactividad entre autores y lectores, cuya dinámica está orientada a la difusión de opinión. [6]

³ Herramienta de creación cooperativa de conocimiento, que puede abarcar desde un tema particular hasta un dominio enciclopédico. [6]

⁴ Repositorio en Internet de archivos multimedia, generalmente de sonido, que pueden ser descargados a cualquier dispositivo portátil de reproducción multimedia. [6]

⁵ Aplicaciones tradicionales de un PC pero implementadas con la tecnología web y que únicamente requieren un navegador estándar para su utilización, un ejemplo representativo de este es Google Docs que ofrece hoja de cálculo, procesador de texto, presentaciones y formularios de forma gratuita. [6]

⁶ Las redes sociales en internet aglutinan tecnología web muy diversa (página personal, blog, foro, fotos, vídeo, email, etc.) aunque con una orientación a la creación y mantenimiento de relaciones entre personas. [6]

simulación⁷, los videojuegos⁸ y los juegos serios⁹; y su uso en la enseñanza está a disposición de profesores y alumnos quienes son quienes deciden cómo y cuándo utilizarlas [6]. En su artículo, Aplicaciones de las TIC en el nuevo modelo de enseñanza del EEES (2009), José I. Santos, José M. Galán, Luis R. Izquierdo y Ricardo del Olmo proponen, de acuerdo a las características técnicas y funcionales de las TIC antes mencionadas, una guía de orientación para su utilización de acuerdo a la modalidad de enseñanza y aprendizaje. (Ver Tabla 1.)

Tabla 1. Modalidades organizativas y TICS.

MODALIDADES ORGANIZATIVAS	TICS
Clases teóricas	Podcasting, video streaming
Clases Prácticas	Presentaciones web, juegos, simulaciones
Seminarios	Juegos, simulaciones, presentaciones web
Tutorías	Chat, email, telefonía internet, video conferencias, aplicaciones web
Estudio y trabajo en grupo; estudio y trabajo individual	Wikis, blogs, aplicaciones colaborativas web, redes sociales.

Fuente: Aplicaciones de las TIC en el nuevo modelo de enseñanza del EEES (2009), de José I. Santos, José M. Galán, Luis R. Izquierdo y Ricardo del Olmo.

Los autores igualmente hacen mención de las ventajas de las TIC como nuevas herramientas didácticas tanto para alumnos como para profesores, entre las cuales se destacan por parte de los alumnos la apropiación de la materia, la generación y disfrute de participación, promover la reflexión y la capacidad de síntesis, y el conocimiento de tecnologías útiles en cualquier actividad profesional, y para el profesor el motivar la participación, flexibilizar los contenidos, individualizar el proceso de enseñanza, optimizar el uso del tiempo, supervisar y evaluar el progreso de los alumnos.

El uso de internet y de los multimedios en el computador puede relevar al profesor de la tarea rutinaria de proporcionar información básica y permitirle entonces dedicar más tiempo a la comunicación del conocimiento tácito, el encuentro interpersonal con el estudiante, el trabajo con pequeños grupos, y la labor de síntesis, crítica y evaluación [7].

En el caso de la enseñanza de la ingeniería civil el uso de las nuevas tecnologías en la formación deben ir encaminadas a construir un nuevo paradigma para el ingeniero de la sociedad del conocimiento, lo que implica generar nuevas formas de enseñanza de la ingeniería y nuevas aulas de clase, hacer del estudiante un autogestor del conocimiento: aprendizaje efectivo, desarrollar habilidades integradoras y de grupo que se integren en el currículo de la formación permanente, entender que la práctica de la ingeniería es global, tener una perspectiva interdisciplinaria, apreciar las diferentes culturas y prácticas comerciales, tener la ética profesional como piedra angular y habilidades de comunicación. Todo ello encaminado a lograr ingenieros innovadores e integradores, líderes que ayudan a desarrollar y aplicar las nuevas tecnologías para crear las ventajas competitivas correspondientes, que poseen la educación, formación y dotación para estar en la vanguardia de la adaptación e integración de estas nuevas tecnologías tanto en el diseño como en la construcción, que reconocen que ya no sirve mirar la construcción con un enfoque estrecho. [8]

⁷ Programa informático o red de ordenadores cuyo fin es crear una simulación de un modelo abstracto de un determinado sistema.

⁸ Un videojuego o juego de vídeo es un juego electrónico en el que una o más personas interactúan, por medio de un controlador, con un dispositivo dotado de imágenes de vídeo. Este dispositivo electrónico puede ser una computadora, una máquina arcade, una videoconsola, un dispositivo portátil (un teléfono móvil, por ejemplo), etc., los cuales son conocidos como "plataformas".

⁹ Los "juegos serios" (del inglés "serious game") es un juego diseñado para un propósito principal, más que para la pura diversión, hace referencia a juegos usados en ámbitos como la formación, la publicidad, la simulación o la educación.

Algunas de estas nuevas tecnologías que tiene un gran potencial en la enseñanza de la ingeniería civil y que se están usando en algunas academias para la formación de los futuros profesionales y en la práctica empresarial, son la realidad virtual y el método de trabajo BIM (Building Information Modeling); ambas herramientas basadas en las nuevas tecnologías computacionales que permiten tener una mejor comunicación entre los usuarios y que se complementan significativamente a la hora de generar conocimiento.

2. BIM (Building Information Modeling)

2.1 DEFINICIONES

La evidente adopción de las tecnologías BIM en el sector de la construcción a nivel mundial, han derivado en una serie de definiciones sobre ¿qué es BIM?, cada una de estas de acuerdo a los diferentes puntos de vista de los actores involucrados en su uso, evolución y expansión, tales como las compañías dedicadas al diseño y construcción de obras civiles, compañías dedicadas al desarrollo de programas computacionales (software) de aplicación BIM, y las instituciones académicas interesadas en la enseñanza y capacitación de esta herramienta tecnológica.

La compañía Autodesk dedicada al software de diseño en 2D y 3D, define en su sitio web a BIM como “un modelo inteligente basado en procesos que proporciona una visión de los proyectos de construcción e infraestructura desde su creación hasta su gestión, más rápida, económica y con un menor impacto ambiental”. Por otra parte reseñan que los programas BIM de Autodesk incluyen una amplia gama de soluciones para el diseño, visualización, simulación y colaboración, que utiliza toda la información importante del modelo inteligente, para facilitar la toma de decisiones y resolver conflictos del proceso para mejorar el negocio. [9]

Otra de las definiciones de Building information modeling (BIM), es la que proporciona el informe de usos del BIM de la universidad de Pennsylvania y lo define como el acto de creación de un modelo electrónico de un proyecto de construcción el cual busca brindar una visualización, análisis de ingeniería, análisis de conflictos, programación de obra, controles de obra, presupuestos y muchos otros propósitos. [10]

Por otro lado la guía BIM de Singapur elaborada por la BCA (The Building and Construction Authority), dependencia del ministerio de desarrollo nacional encargada de garantizar la excelencia del entorno construido en ese país, define BIM como una colección de usos, flujos de trabajo, metodologías de modelación para conseguir información específica y segura de un modelo determinado, entendiendo modelo como “representación digital basada en objetos y características físicas y funcionales de una instalación. El modelo como tal, sirve como una fuente de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que forma una base fiable para decisiones durante su ciclo de vida desde el inicio en adelante” [11].

El departamento de diseño y construcción de la ciudad de Nueva York define BIM como “una colección digital de aplicaciones de software diseñadas para facilitar la coordinación y colaboración en proyectos. BIM también se puede considerar como un proceso mediante el cual se desarrolla la etapa de diseño y construcción virtualmente en un computador, antes de realizar esta en la realidad. [12]

Para el instituto nacional de ciencias de la construcción en los Estados Unidos, (NIBS)¹⁰, BIM “es la colaboración de los diferentes actores en diferentes fases del ciclo de vida de un proyecto para

¹⁰ La NIBS es una organización no gubernamental sin fines de lucro, que reúne a los organismos del gobierno, profesionales de la construcción, la industria de la construcción, trabajadores de la construcción, consumidores y agencias reguladoras con el fin de identificar y solucionar los problemas potenciales del sector (estructurales, económicos, comerciales, etc.) en los Estados Unidos

insertar, extraer, actualizar o modificar la información contenida en el modelo para apoyar y reflejar el papel de las partes interesadas. El modelo es una representación digital compartida basada en estándares abiertos para la interoperabilidad” [13]

La administración de servicios generales de edificios públicos en Washington D.C en los Estados Unidos, (GSA), elaboró en el año 2007 una guía para el uso de la tecnología BIM y define esta última como “el desarrollo y el uso de un modelo de datos computarizado de múltiples facetas, que sirve no sólo para documentar el diseño de un edificio, sino también para simular la construcción y operación de este. El Modelo resultante es una rica representación de datos basada en objetos, una representación digital inteligente y paramétrica, en la que de acuerdo a las diferentes necesidades de los usuarios puede ser analizados para generar información, retroalimentarse e implementar mejoras en el proyecto” [14].

Si bien son numerosas las definiciones que han surgido de acuerdo a su uso, adecuación y manejo en las diferentes sectores de la rama de la construcción todas ellas van encaminadas a describir una metodología de trabajo que se basa en el modelo paramétrico de edificios, con el uso de programas computacionales que además de proporcionar elementos gráficos, como el modelo, permite obtener información técnica de los mismos y realizar control de los procesos, incluso antes de su ejecución.

2.2 BIM EN LA INDUSTRIA, USO ACTUAL

Tradicionalmente la colaboración entre las diferentes disciplinas del sector de la construcción (arquitectura, ingenieros diseñadores, ingenieros constructores, empresas, entidades gubernamentales y clientes) que hacen parte de todas las etapas de un proyecto ha girado en torno al intercambio de dibujos y documentos en dos dimensiones (2D) [15]. El principal problema de trabajar de esta manera, es que se generan una gran cantidad de representaciones de un mismo modelo, inconexas e independientes entre sí, producto de cada una de las disciplinas de diseño que intervienen en un proyecto de construcción, por lo tanto cualquier modificación realizada en un componente no se refleja en el resto del proyecto [16]. Esto se traduce en una considerable pérdida de la eficiencia y productividad de las actividades mismas del proceso constructivo.

La industria de la construcción es una de las industrias que evoluciona más lentamente; otras ya se sumaron a la evolución tecnológica y emplean en sus procesos de diseño, cálculo, simulación y fabricación, programas computacionales basados en sistemas paramétricos tipo CAD-CAM-CAE (computer-aided design – CAD, computer-aided manufacturing – CAM, computer-aided engineering - CAE) siglas de diseño asistido por computador(CAD), fabricación asistida por computador (CAM) e ingeniería asistida por computador, como son la aeronáutica, el sector automotriz y el diseño industrial [16]. Mediante estos procesos de diseño se crean antes de su fabricación prototipos virtuales, que permite observar y hacer simulaciones del modelo tridimensional completo, con toda la información asociada, en el ordenador, antes de que se haga realidad. De igual manera la industria de la construcción tiene diferencias importantes respecto a otros sectores industriales, entre ellas y la más destacable es la producción in situ frente a la producción en serie del resto de las industrias. Cada obra se concibe como un proyecto de características únicas y como tal debe organizarse en torno a un proceso de producción específico, donde todos los participantes promotores, proyectista, constructor, industriales y facultativos, se ven involucrados en la construcción de una obra única en un lugar concreto [16].

Sin embargo en el panorama actual de la industria de la construcción se cuentan con las herramientas tecnológicas y metodologías de trabajo para aumentar la eficiencia y productividad del sector. Este es el caso de los programas computacionales que componen el método de trabajo para la construcción

mencionado anteriormente como BIM, los cuales principalmente por la resistencia al cambio están siendo poco a poco implementados.

La utilización de BIM en el sector de la construcción se está realizando con mayor fuerza en los Estados Unidos, los países europeos, Singapur, Emiratos Árabes Unidos, India, Hong Kong, Australia y Canadá, como lo demuestran los siguientes informes del sector:

En 2009 McGraw Hill construction, un editor de información del sector de la construcción en los Estados Unidos y Canadá presentó el estudio, SmartMarket Report, THE BUSINESS VALUE OF BIM, en el cual dio a conocer un crecimiento del uso de BIM en las empresas del sector en Norte América que pasó de un 28% en el 2007 a un 48% para el 2009, lo que implica un crecimiento de un 71% en dos años. Sin embargo entre sus usuarios el 48% considera que tan solo se está utilizando parcialmente lo mucho que BIM puede dar; un 45% lo aprovecha pero sabe que aún hay más y tan solo un 3% trabaja BIM en toda su capacidad. De igual manera se encontró en este estudio que en las fases que más beneficio se obtiene del BIM es en la generación de documentos como planos (55%) y en desarrollo del diseño (54%). Los sigue en orden la etapa de construcción, la de fabricación, la del diseño esquemático, el prediseño y por último la etapa de mantenimiento. Entre las profesiones que mayor valor obtienen del trabajo con BIM están los arquitectos (52%), quienes lo utilizan y se benefician en la etapa de diseño y visualización; los ingenieros estructurales (46%) con la modelación de elementos estructurales; los constructores encargados y los contratistas generales (42%) con el manejo de tiempo y presupuesto de obra. [17]

Según el informe “Smart market report” en su artículo “the business value of BIM in Europe” elaborado por McGraw Hill construction, para el año 2010 alrededor del 36% de las empresas dedicadas a la construcción o actividades relacionadas a la industria de la construcción ubicadas en Europa occidental, reportaron estar implementando la metodología BIM en sus proyectos. Esta cifra se puede comparar con el 49% de las empresas que reportaron lo mismo en Norte América para el año 2009 y se esperaba un porcentaje del 71% para el año 2012. Los principales actores que implementaron el uso de BIM en la industria son los arquitectos (47%), seguido por los ingenieros (38%) y los contratistas (24%). Los principales países que están implementando la tecnología BIM en sus proyectos de construcción son el Reino Unido (35%), Francia (38%) y Alemania con (36%). [18]

Es importante mencionar que uno de los grandes beneficios de la implementación de la metodología BIM en la industria es el mejoramiento en la productividad de las obras; tres cuartas partes de los usuarios europeos (74%) de BIM reportan un cambio positivo en la percepción de su inversión total en BIM, frente al 64% de los usuarios de BIM en Norteamérica. En ambos mercados, los que formalmente midieron el retorno de la inversión reportan un retorno de la inversión (ROI) más alto que aquellos que basan su juicio sólo en la percepción. En Europa occidental casi la mitad de los usuarios de BIM informan que al medir el ROI obtienen valores de más del 25% en sus proyectos. [18]

Parte de los porcentajes de utilización de BIM en la industria de la construcción se debe a que en algunos países su implementación se lleva a cabo por normas gubernamentales, tal es el caso de Noruega donde es imprescindible su uso para las principales infraestructuras y para los edificios gubernamentales. Statsbygg actúa en nombre del Gobierno de Noruega y es responsable de la construcción, la gestión y desarrollo de la propiedad estatal. Statsbygg gestiona aproximadamente 2,6 millones de metros cuadrados de superficie, en Noruega y en el extranjero. La cartera se compone de edificios gubernamentales y culturales, colegios y edificios de la administración pública, las propiedades reales, embajadas y residencias diplomáticas en el extranjero. En 2007, Statsbygg decidió usar BIM para todo el ciclo de vida de sus edificios y ordenó que en 2010 todas las propiedades usaran BIM. [19]

En Finlandia Senate Properties, empresa de propiedad del estado bajo la dirección del Ministerio de Finanzas de Finlandia, responsable de la gestión de activos de propiedad del Estado finlandés y por

ende de las instalaciones, cuyo parque de edificios comprende universidades, oficinas, centros de investigación, edificios culturales y otros edificios con un activo total de la cartera de 5,6 billones de euros [20], llevó a cabo una serie de proyectos piloto para desarrollar y estudiar el uso de BIM, con base en la retroalimentación de estos, decidió exigir el uso de modelos BIM que garanticen el cumplimiento de los estándares IFC en sus proyectos desde el 1 de octubre de 2007 como primer paso para ir hacia un uso más amplio de modelos BIM [19]. El objetivo es incluir a todos los que hacen parte de las operaciones integradas basadas en modelos desde el diseño, construcción, y mantenimiento de inmuebles en los próximos años. Por otra parte el gobierno de Finlandia publicó en el 2012 una Guía BIM (BIM Guidelines of Senate Properties) universal para la industria, que se está promoviendo actualmente [19].

Otro caso representativo es Suecia, país que intenta ponerse al día con Finlandia y Noruega, y que en particular, es líder en el uso de BIM para el diseño y construcción de grandes y complejos proyectos de infraestructura, como la carretera de circunvalación de Estocolmo y la nueva línea de la ciudad de Estocolmo. En 2009 la organización open BIM se lanzó a establecer normas de BIM en Suecia [21].

En Dinamarca desde el año 2007 el gobierno central estableció que los proyectos con participación estatal de al menos un 50% requerirían el uso de lo que llamaron un estándar digital, en el cual está incluida la aplicación de la metodología de trabajo BIM [22]. Por otra parte en Holanda desde noviembre del 2011 es un requisito obligatorio la utilización de metodología BIM para participar en las licitaciones con el estado, y aclaran que una vez creado el modelo BIM la información se mantendrá disponible permanentemente y debe abarcar todo el ciclo de vida del edificio [22].

Por otro lado como se mencionó anteriormente, en Singapur la guía BIM elaborada por la BCA (The Building and Construction Authority) hace parte de una iniciativa estatal del gobierno central para la implementación de metodologías BIM en la industria de este país [11].

Sin embargo su uso no solo está ligado a normas estatales. Algunos países implementan BIM como metodología de trabajo aun en el sector privado. Uno de estos casos es Emiratos Árabes Unidos, que sin duda es una región líder en el uso de software y modelos BIM como una herramienta de diseño para los edificios de la región que cada vez son más innovadores y siempre buscan desafiar los límites conocidos [21].

En India las empresas emplean principalmente la metodología BIM con el fin de proporcionar servicios de modelado a empresas en el extranjero, pero sin duda la demanda de nueva infraestructura también generará proyectos que optimicen la experiencia local en el BIM [23]. China, por otro lado, aparece bien posicionada para adoptar BIM rápidamente. Un sector de rápido crecimiento en este país como el de la construcción y la inversión significativa en infraestructura, junto con un fuerte apoyo del gobierno y de una cultura basada en la confianza y la pragmática son buenas bases para una rápida implementación. Adicionalmente la empresa desarrolladora de algunos de los programas computacionales de la metodología BIM como Autodesk, y la academia china para la investigación en tecnologías de la construcción, firmaron un acuerdo con el objetivo de promover conjuntamente la investigación y la aplicación en China del proceso basado en modelos BIM en los campos de arquitectura, ingeniería y construcción [24].

La región administrativa especial de Hong Kong es otra de las regiones donde un número creciente de organizaciones de la industria de la construcción están adoptando BIM en sus proyectos. El departamento de vivienda del Gobierno de Hong Kong está promoviendo activamente el uso de BIM en sus proyectos y alentando a otros interesados. [25]

Un informe del Departamento de Industria, Innovación, Ciencia, Investigación y Educación Superior de Australia llamado BIM: iniciativa nacional, recomienda a la industria de la construcción de este país trabajar junto al gobierno en la implementación de iniciativas que aceleren la adopción de BIM como

metodología de trabajo en el sector de la construcción, y de esta forma posicionar a las empresas australianas para competir en un sector que crece cada día a nivel mundial. [19]

Otro caso es el Instituto de BIM en Canadá, (IBC), quien conduce y facilita el uso coordinado de Building Information Modeling (BIM) en el diseño, construcción y gestión de las zonas edificadas y por edificar en Canadá. Sus organizaciones socias fundadoras representan sectores específicos de la industria que tienen un gran interés en ver BIM aplicado de una manera masiva y a un ritmo de crecimiento acelerado. Las prioridades del IBC incluyen un programa de sensibilización, un manual de práctica, una bibliografía de recursos útiles, y una exploración / evaluación ambiental completa sobre el uso de BIM en Canadá e internacionalmente. [26]

Por otro lado, el número significativo de publicaciones o informes que buscan establecer directrices , en el uso de la metodología BIM, demuestran el interés de algunos países por fundar un uso generalizado de la metodología BIM en el sector de la construcción

Tabla 2. Guías para el uso de la metodología BIM.

PAIS	GUIA
AUSTRALIA	National Guidelines for Digital Modelling
AUSTRALIA	Australia and New Zealand Revit Standards (ANZRS)
DINAMARCA	BIPS 3D Working Method
FILANDIA	COBIM Common BIM Requirements
NORUEGA	Statsbygg BIM Manual 1.2
USA	National BIM Standards
USA	Integrated Project Delivery: A Guide
USA	US General Services Administration BIM Guides
USA	AIA Document E202 BIM Protocol Exhibit
USA	Penn State BIM Project Execution Planning Guide
USA	The VA BIM Guide – 2010
USA	Ohio State BIM protocol – 2011
USA	Penn State BIM Planning Guide for Facility Owners
USA	AIA Digital Practice Document
USA	Georgía Tech BIM Requirements and Guidelines
USA	Indiana University BIM Guidelines and Standards
USA	New York City Department of Desing and Construction BIM Guidelines
USA	GSFIC BIM guide
USA	University of Southern California BIM Guidelines
USA	BIMForum Level of Development Specification
REINO UNIDO	First Steps to BIM competence
REINO UNIDO	BIP 2207 Building Information Management – A Standard Framework and guide to BS 1192 – 2010
REINO UNIDO	BS 1192 Collaborative production of architectural, engineering and construction information 007
REINO UNIDO	AEC (UK) BIM protocol v2.0
SINGAPUR	Singapore BIM Guide

Fuente: Adaptado de NATSPEC BUILDING INFORMATION MODELING PORTAL [27]

2.3 PROYECCIONES DE CRECIMIENTO

Como se evidencia, son muchas las entidades tanto públicas como privadas a nivel mundial que están creando iniciativas que dejan de manifiesto las bondades y beneficios recibidos al utilizar BIM en los proyectos de construcción, estos vistos no solo como mejoras significativas en la parte técnica sino también en el rendimiento económico de los proyectos. El informe de investigación de mercado elaborado por la empresa PIKE RESEARCH en mayo del 2012 espera que el mercado mundial de software de modelado de información (BIM) y servicios de construcción se incremente en los próximos ocho años. Dicho estudio considera que los ingresos mundiales anuales de productos y soluciones BIM de servicios aumentará alrededor de 1,8 billones de dólares en este año y cerca de \$ 6.5 billones en el 2020. [28]

Se espera un crecimiento relativamente fuerte en los próximos años, en las regiones del mundo donde la adopción de BIM se ha afianzado, incluyendo América del Norte, Europa occidental y el Asia Pacífico. Aunque América del Norte y Europa Occidental están liderando el mercado Pike, se prevé una mayor tasa de crecimiento en la región Asia Pacífico, gran parte de esto se debe al hecho de que la región de Asia Pacífico tiene un gran parque de viviendas, así como una importante cantidad de edificios y requerimientos de infraestructura. [29]

Otras regiones del mundo, como América Latina, Europa del Este, Oriente Medio y África, no verán un aumento en las tasas de adopción de BIM hasta después del período de pronóstico de este informe, que abarca los años de 2012 a 2020. Solo hasta que en las regiones más importantes se empiecen a resolver los problemas iniciales de crecimiento en la adopción de BIM y comiencen a aparecer y reflejarse los beneficios de BIM, se ira adoptando poco a poco la práctica habitual en las regiones más rezagadas. [29]

La tasa compuesta de crecimiento anual en todo el mundo debería totalizar 17,3 % para los productos y servicios BIM durante el período de ocho años predijo la firma Pike Research; esta cifra incluye tanto los ingresos de software BIM y los ingresos de los servicios BIM relacionados, tales como la formación, apoyo, gestión y colaboración en el proyecto. El crecimiento en los primeros años del período de pronóstico será relativamente mayor en las regiones líderes a medida que más empresas adopten las herramientas y las prácticas BIM. Sin embargo en las regiones más rezagadas, las tasas de crecimiento más altas no se verán hasta dentro de 4-5 años, pero esas áreas eventualmente empezaran a moverse más y más hacia el uso de BIM. [28]

Pike Research caracteriza el mercado mundial BIM como incipiente, pero en rápida evolución, como nuevas innovaciones en las herramientas, técnicas y métodos que permite a los profesionales trabajar juntos de manera más colaborativa. "Algunos países están tomando un papel activo en la adopción de BIM al ordenar su uso en proyectos tanto públicos como privados. Como lo hacen en otras industrias, los países rezagados están tomando un tiempo de espera a ver como evoluciona el mercado BIM. Sin embargo, la eficiencia de la construcción está a la vanguardia de las conversaciones de todo el mundo en materia de energía y el uso del agua, los residuos y el costo de las operaciones. Como las emisiones de carbono y la conservación de la energía es cada vez más importante a nivel mundial, la adopción de prácticas y herramientas BIM se convertirá en una prioridad, ya que puede afectar de forma significativa el uso eficiente de los recursos valiosos y escasos". [29]

El crecimiento generalizado en el uso de la metodología de trabajo BIM en todo el mundo, y las perspectivas económicas esperadas alrededor de esta tecnología están fundamentadas en las ventajas competitivas que potencialmente pueden adquirir las empresas que implementen en su cadena de procesos dicha metodología; además el sector de la construcción en general presentara un crecimiento importante en los próximos años, por lo cual las empresas de la industria de la construcción que pretendan sobrevivir o crecer en un mundo que presenta cada vez cambios más rápidos, competencia feroz e innovación sin barreras deben ver en BIM una herramienta que les

permitirá mejorar su productividad, de cara al crecimiento mundial esperado en el sector de la construcción.

El portal web Building del Reino Unido en su informe global construction, que hace parte de un gran estudio mundial realizado por las empresas de investigación de Global Construction Perspectives y Oxford Economics, estima que para el año 2025 habrá un 70% más de obras en proceso de construcción que las que se encuentran actualmente construyéndose, en promedio un 4,3 % anual, a partir de 8,7 billones dólares en 2012 a \$ 15 billones para el 2025. Tomando como proporción del PIB mundial, la construcción en el 2012 representó el 12,2 %, y el informe prevé que se elevará a 13,5 % en 2025. [30]

El informe Global Construction 2025 también deja claro que la mayor parte del crecimiento en los próximos 13 años se encuentra en los mercados emergentes. El informe concluye que en 2025 la construcción representara el de 10,3 % del PIB de las economías desarrolladas, en comparación con 16,7 % en los mercados emergentes. Gran parte de ese crecimiento también se explica por un solo país. En 2025, el informe indica que China representará una cuarta parte de la producción mundial de la construcción. [30]

Quizás sorprendentemente, las perspectivas para los EE.UU. es muy positiva, con un crecimiento de más del 75% previsto entre 2012 y 2025. El informe dice que el potencial de crecimiento en el sector de la vivienda es particularmente fuerte, anticipando que el país necesita construir 20 millones de viviendas para el año 2025 - o 1,5 millones al año - impulsado por una población en aumento. [30]

Las perspectivas para Canadá son fuertes también, con estrechos vínculos comerciales con los EE.UU., las altas tasas de crecimiento de la población y la explotación de petróleo y gas de esquisto son condiciones ideales para el incremento de la construcción [30]. Por otro lado, se espera que las industrias mineras de Chile y Colombia puedan apoyar un mayor crecimiento de la construcción en el largo plazo, y se espera que la economía de México pueda beneficiarse de los bajos costos de mano de obra y sus fuertes vínculos comerciales con los EE.UU. El informe prevé un crecimiento medio anual del 4% en Chile y Colombia, y casi el 5 % en México.

Estas perspectivas de crecimiento a nivel mundial tanto del sector de la construcción en si como del uso de la metodología BIM son una señal de alerta al sector de la educación ya que debe enfocar la preparación de los estudiantes que cursan carreras profesionales vinculadas al sector de la construcción al uso y familiarización de estas herramientas en todo su ciclo formativo.

2.4 BIM EN LA ENSEÑANZA

Los colegios y universidades en los EE.UU. reconocieron la necesidad de la utilización de CAD en los profesionales vinculados al sector de la construcción y comenzaron a implementar cursos de CAD en sus planes de estudios de ingeniería en la década de 1980. Aunque CAD ha sido una de las herramientas de diseño principales en las últimas décadas, BIM es cada vez más utilizado por una mayor conciencia de su colaboración y capacidades de visualización. Colegios y universidades están reestructurando los programas para reflejar este cambio de CAD a BIM. Los estudiantes no necesitan saber CAD para aprender BIM, una vez que aprenden BIM, fácilmente se extraen los dibujos 2D de sus modelos. [31]

La falta de personal con habilidades en BIM, es una limitación importante en el uso de esta tecnología en la arquitectura, la ingeniería y la industria de la construcción. A menos que BIM sea introducido en los programas de pregrado de ingeniería civil de una manera fundamental, los ingenieros civiles graduados carecerán de las habilidades necesarias para servir a la industria de la construcción en la

que los modelos tridimensionales son el principal medio de expresión y comunicación entre los diferentes actores de un proyecto. [32]

A medida que más empresas del sector de arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) integren BIM en sus campos de acción, se requiere que la nueva fuerza de trabajo sea capaz de colaborar y comunicarse utilizando las tecnologías BIM que puede ser en tres, cuatro, y cinco dimensiones (3D, 4D y 5D) de acuerdo al nivel requerido por cada proyecto. Los educadores deben incentivar la formación de los estudiantes de ingeniería y del sector de la construcción para adquirir las habilidades y conocimientos de la tecnología BIM y así satisfacer la necesidad de este sector industrial. [33]

Con el aumento de la utilización de BIM en la industria AIC, se espera que los estudiantes de ingeniería empiecen a interpretar y comprender el diseño de proyectos en 3D. Además, se espera que los ingenieros de construcción puedan llevar a cabo los cálculos de cantidades de obra, la estimación de costos, y las tareas de programación. Uno de los mayores desafíos que enfrentan profesores en la enseñanza de BIM es la promoción de la integración de las diferentes áreas dentro del plan de estudios. [31]

La inclusión efectiva de BIM en el currículo educativo de construcción será fundamental en la preparación de los futuros empleados para la industria. [17]. Sin embargo las instituciones educativas carecen actualmente de estrategias y capacidades para introducir eficazmente y enseñar BIM en los cursos existentes o futuros. La poca capacitación adecuada en BIM presenta actualmente un obstáculo importante en el camino a una mayor adopción de esta metodología por parte de la industria. [34]

Las instituciones educativas en algunos países han empezado a enseñar aplicaciones BIM y han puesto en marcha programas para la integración de BIM en los cursos existentes relacionados con la industria de la construcción. En los EE.UU., una serie de instituciones educativas están introduciendo BIM en sus planes de estudio [25]. Un ejemplo de ello es la Universidad de Auburn Alabama, la cual comenzó a ofrecer BIM como un tutorial de una semana, seguido por un curso introductorio de un semestre en BIM [35]. Por otra parte, el Instituto Politécnico de la Universidad de Nueva York ofrece dos cursos en nivel de posgrado llamados técnicas de modelado en la construcción y sistemas de información en gestión de proyectos, y La Brigham Young University ofrece a nivel de posgrado un curso llamado, la integración de software de construcción. La siguiente tabla (Ver tabla 3) muestra las instituciones y universidades que actualmente ofrecen cursos de metodología BIM en su contenido programático [32].

Tabla 3. Universidades que ofrecen cursos BIM.

UNIVERSIDAD	NOMBRE DEL CURSO
POLYTECHNIC INSTITUTE OF NYU	Construction Modeling Techniques
POLYTECHNIC INSTITUTE OF NYU	Information Systems in Project Management
BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY	Integrating Construction Software
LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SWEDEN	Virtual Construction
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON	Building Information Modeling: Strategies for Implementation
STANFORD UNIVERSITY	VDC Virtual Design and Construction – Certificate Program
CARNEGIE-MELLON UNIVERSITY	Building Information Modeling BIM course
UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES	Parametric Design Using BIM
MIT	Architectural Construction and Computation
PURDUE UNIVERSITY	Building Information Modeling for Commercial Construction
TECHNION-ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Engineering Information

MILWAUKEE SCHOOL OF ENGINEERING	Introduction to Building Information Modeling
NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, NORWAY	Prefabrication of Buildings base don Digital Models (BIM and IFC)
NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, SINGAPORE	Introduction to IFC and BIM
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHONOLOGY, FINLAND	Information models in the Construction Industry
AALBORG UNIVERSITY, DENMARK	Product Modelling and Product Configuration
QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, AUSTRALIA	Current Construction Issues (interoperability in construction industry)
COPENHAGEN UNIVERSITY COLLEGE OF ENGINEERING, DENMARK	Digital Building Desing (Projectweb, BIM, IFC, Lean Construction)
ARCHITECTURE DEPTT, HUT, FINLAND	Information Management for Architect

Fuente: Building Information Modelling For Tertiary Construction Education In Hong Kong [36] y Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of freshman year civil engineering education [32]

Los investigadores, Sabongi y Arch, de la Universidad del Estado de Minnesota realizaron un estudio exploratorio con los miembros de las escuelas asociadas a la construcción, de 119 universidades y colegios encuestados, el cual arrojó el siguiente resultado: el 9% de los encuestados aborda actualmente BIM en sus cursos y menos del 1% enseñan BIM como una clase independiente. Por otra parte se concluyó que los problemas para la inclusión de BIM son los siguientes [37]:

- No hay espacio en el actual plan de estudios para las clases adicionales (82%).
- La imposibilidad de añadir clases obligatorias u optativas adicionales y que todavía los estudiantes se puedan graduar en ocho semestres (66,7%).
- Problemas con los profesores ya que no tienen el tiempo o los recursos para desarrollar un nuevo plan de estudios (86,7%).
- Disponibilidad de materiales específicos de BIM (Hardware y Software) y libros de texto para uso de los estudiantes (53,3%).

Otro de los grandes obstáculos en la inclusión de BIM en los programas académicos, mencionado en el artículo, *Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of freshman year civil engineering education*, es el dilema de si su inclusión debe ser como un reemplazo a la actual enseñanza de CAD o como un complemento de este, esto dado que para muchas instituciones CAD es visto como una competencia básica y BIM como un tema mucho más complejo y sofisticado. [32]

Por otra parte, Sack y Barak en el 2010 desarrollaron un curso obligatorio de primer año para enseñar los aspectos teóricos y prácticos de BIM y sustituir los cursos tradicionales de dibujo en ingeniería en el Technion-Israel Institute of Technology en Haifa, Israel. Los docentes hicieron hincapié en que BIM se debe enseñar a los estudiantes de ingeniería civil en su primer año y que no es necesario aprender BIM junto con CAD [32].

Un estudio realizado por la universidad estatal de Colorado, Integrating BIM into Construction Management Education, estableció como un reto la puesta en marcha de un plan de acción para la amplia adopción de BIM a través de su programa de estudios de gestión de la construcción. Este esfuerzo en conjunto con los miembros de la facultad se compone de dos estrategias [38]:

- Reemplazar la clase de CAD existente del programa de estudios con una clase BIM durante el primer año. Los objetivos del curso serán los de introducir al alumno en las técnicas y capacidades de un programa de modelado específico y armarlos con las habilidades básicas de modelado BIM.

- Desarrollar e integrar módulos de enseñanza BIM en numerosos cursos de nivel superior (por ejemplo, las estructuras, la estimación de costos, la seguridad, la programación de obra, los métodos de construcción) para demostrar la eficacia del BIM como un nuevo proceso de trabajo.

Este informe concluye que en los Estados Unidos los programas de gestión de la construcción de todo el país buscan integrar BIM en su plan de estudios. Esto motivado por el deseo de los profesores para mejorar los ambientes de aprendizaje y que los estudiantes utilicen de manera eficaz las nuevas herramientas de visualización y comunicación; igualmente por el interés de los estudiantes por aprender métodos de diseño y análisis con nuevas herramientas, y la aspiración compartida por la industria y la academia para preparar a los estudiantes a los nuevos flujos de trabajo que ofrece BIM que mejoren la práctica profesional. [38]

Por otro lado Jim lee Kim en su estudio *Use of BIM for effective visualization teaching approach in construction education* presenta un método para facilitar el aprendizaje de BIM, mejorar el entendimiento de los conceptos por parte de los estudiantes y dejar de manifiesto las bondades de BIM en el proceso de enseñanza del proceso constructivo. Este método cuenta con 4 pasos, en el cual uno de estos incluye el aprendizaje de CAD previo al de BIM (Ver tabla 5) [33].

Tabla 4. Pasos del enfoque de aprendizaje mediante BIM

PASO	SECUENCIA	HERRAMIENTA	PRODUCTO
1	Entendimiento del modelo físico	Modelos físicos de los proyectos reales constriidos a escala	Dibujo boceto con dimensiones
2	Desarrollando dibujos en 2D	Computer aided desing (programa CAD)	Planos de planta, alzados, perfiles
3	Desarrollando modelos BIM en 3D y medir cantidades de obra	Software BIM	Modelos BIM en 3D
4	Evaluar detalles de construcción y cantidades de obra	Crierios aprendidos	Resultados de eficiencia del enfoque de aprendizaje basado en BIM

Fuente: Adaptado de *“Use of BIM effective visualization teaching approach in construction education”*

Se concluyó en su estudio que los resultados de la evaluación indican que el método de enseñanza basado en BIM ayudó a los estudiantes a aprender de forma efectiva los detalles de construcción y a calcular cantidades de material en obras de una manera más precisa. Además espera que la secuencia del método de enseñanza basada en BIM propuesta en su estudio sirva para ayudar a los estudiantes a superar la dificultad de lectura e interpretación de planos en 2D. Por lo tanto concluye que el método de enseñanza basado en BIM se puede integrar en el plan de estudios de las carreras afines a la construcción como una herramienta de aprendizaje integral y agrega que el método de enseñanza basado en BIM puede ser fácilmente replicado en cualquier curso universitario que se centre en cualquiera de las etapa de un proyecto de construcción. [33]

Otro ejemplo claro de implementación de BIM o de algunas herramientas de BIM desde la academia, es el caso del Instituto Politécnico Worcester en Massachusetts, en donde se imparte la cátedra denominada sistema integrado para la construcción a la cual se le ha realizado un seguimiento y análisis para comprobar su utilidad y beneficio en el trabajo colaborativo. Los resultados del estudio demostraron que los estudiantes redujeron su tiempo de aprendizaje, disminuyeron inconsistencias de diseño y lo más importante, el uso del software Revit (programa computacional utilizado en la metodología BIM) ayudó a los alumnos a enfocarse en el entendimiento. Este trabajo trajo como

resultado la implementación de BIM en la maestría en ingeniería, la licenciatura en ingeniería civil, así como en proyectos de calificación para doctorados en el WPI. [39]

Por otro lado en la universidad CEU San pablo, de Madrid-España, surgió en el 2012 una iniciativa para promover la implementación de BIM de una manera transversal en la formación del arquitecto, llamada INICIATIVA #BIMCEU, promovida por profesores y alumnos de la escuela. Esta iniciativa ha realizado varias actividades dentro de la academia. Por una parte incorpora dentro de la estructura curricular de arquitectura, en la asignatura optativa “proyecto de estructuras especiales”, la enseñanza de Revit y Archicad y establece BIM estructural como modelo base para el trabajo en taller; como otra estrategia en el título propio de fabricación digital, como carrera técnica, incluye en su contenido BIM en el diseño arquitectónico, estructural y diseño paramétrico; realiza seminarios, conferencias y jornadas educativas tales como Algomad 2012, referente nacional e internacional del diseño paramétrico en arquitectura e ingeniería y por último hacen presencia en las redes con un canal Youtube, BIM Ceu, con un contenido de más de treinta videos de tutoriales en Revit Estructura realizados por los alumnos. En el twitter crearon la cuenta @bimceu para dar publicidad a las noticias y actividades del mundo del BIM, especialmente dentro del mundo universitario, y se creó el Blog “Sustainability & s-BIM for buildings” que se dedica a la sostenibilidad y las estructuras de edificación, pero que le da protagonismo a las actividades y noticias de BIM estructural. [40]

En Canadá, el Collège George Brown, centro de enseñanza de tecnologías de la construcción y la ingeniería y el SAIT Polytechnic son miembros del consejo canadiense de BIM, CanBIM, dedicado, como se describe en la página oficial del consejo, (fr.canbim.com), a representar, apoyar y defender los interés de toda la comunidad AECOO (arquitectura, ingeniería, construcción, propietarios y operadores) y la educación para crear un ambiente de negocios positivo para el despliegue efectivo de BIM no sólo para las empresas de sus miembros, sino para todos los involucrados en el uso de BIM en Canadá. [41]

El College George Brown ofrece en el Centro de Construcción y tecnologías de ingeniería un programa de posgrado que titula profesionales con las habilidades en la tecnología y el estilo de trabajo colaborativo necesarias para sobresalir en el sector de la construcción actual [41]. El programa de *Building information modeling* enseña a los estudiantes los programas informáticos más actuales de la industria, e instruye en cómo crear modelos digitales en 3D de los nuevos edificios, lo que permite a los estudiantes planificar más eficazmente las características físicas y funcionales de un edificio.

Este programa de postgrado de dos semestres prepara a los estudiantes para la naturaleza cada vez más integrada de la construcción, en la que los todos los oficios como contratistas y arquitectos trabajan más estrechamente desde el principio para diseñar y construir edificios. Clint Kissoon, presidente de Escuelas de Estudios de Arquitectura y Gestión de la Construcción y Oficios de CCET, dice que se gradúan especialistas BIM, que van a llenar un vacío de habilidades en la industria de la construcción. [41]

Una encuesta realizada en conjunto por las universidades de Louisville y Florida para investigar la aplicación de BIM en los programas existentes de arquitectura, ingeniería civil, diseño estructural y construcción en los EE.UU., reporta lo siguiente [31]:

- Un 60% de las instituciones encuestadas tenía entre 101 y 300 estudiantes. Los resultados también indican que el 42% de las instituciones encuestadas había implementado BIM en el plan de estudios y un 23% que ofrece al menos un curso especializado en BIM, del resto de los que respondieron indicaron que algunos programas académicos están esperando por el interés de los estudiantes, otros carecen de experiencia docente y, otros aún no han determinado la necesidad de implementar BIM en su plan de estudios.

- **Autodesk Revit** fue el software BIM utilizado por la mayoría, 12 de los 13 programas académicos que implementaron cursos enfocados en BIM. **Bentley Architecture** fue utilizado en cuatro de los 13 programas académicos que han implementado BIM. En este punto se solicitó a los encuestados indicar todos los programas computacionales que utilizaran así que una institución podía usar Revit y Bentley al mismo tiempo.
- Ocho de las 13 instituciones académicas que ofrecen programas de ingeniería civil y construcción que habían implementado BIM indicaron que esperaban que sus estudiantes de pregrado presentaran al menos conocimientos básicos de BIM al graduarse, cuatro indicaron que esperaban que sus estudiantes universitarios al graduarse contaran con conocimientos intermedios de BIM y uno espera que sus estudiantes universitarios para graduarse con conocimientos avanzados de BIM.
- Se preguntó que describieran el tipo de aplicación BIM en sus programas. Los encuestados fueron capaces de seleccionar una o más de las siguientes categorías de aplicación BIM: crear modelos para la coordinación (3D), la aplicación de la programación en los modelos (4D), implementar costos en los modelos (5D), aplicar otra información en modelos como "operaciones y mantenimiento" (6D), "ninguna" u "otras". En cuanto al plan de estudios, más de la mitad (62%) es decir 8 de las instituciones encuestadas declararon que en sus escuelas BIM se utilizó para la coordinación 3D, El 15% es decir 2 de los encuestados indicó que en sus escuelas BIM se utilizó para modelado en 4D y 5D y solo uno de los encuestados respondió otras aplicaciones.
- 42% de los 13 programas académicos de ingeniería civil y la construcción han implementado BIM como una respuesta a las demandas de la industria.

La encuesta arrojó una tasa de respuesta del 15%. Es decir que el interés en la aplicación de BIM en el currículo educativo crece en las escuelas en los EE.UU., por lo tanto estas escuelas están reestructurando su plan de estudios y la contratación de profesores con experiencia en el BIM para preparar mejor a los estudiantes para la creciente demanda de profesionales con conocimientos BIM en la industria. Se presentó una gran variedad en el tamaño de las escuelas que respondieron indicando su interés en BIM que no se limita solo a las grandes escuelas. [31]

Por otro lado, Colombia no ha sido ajena al interés por formar los nuevos profesionales en estas nuevas tecnologías y metodologías de trabajo BIM, en este país se viene implementando esta herramienta en la academia en la enseñanza de la arquitectura. Tal es el caso de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín donde en el laboratorio de graficación y servicios se imparte un curso de Revit Architecture con el fin de introducir en los conceptos BIM, dirigido a profesionales y estudiantes de las áreas de arquitectura, construcción y público en general que se encuentre interesado en el tema y dentro de la malla curricular se enseña el programa Revit como herramienta de diseño. [42]

La universidad San Buenaventura sede Medellín, al igual que la institución universitaria Colegio Mayor de Antioquia ofrecen un curso del software Revit Architecture en el que buscan que al finalizar el curso, el alumno esté en capacidad de producir proyectos arquitectónicos usando las herramientas de diseño, documentación y representación incluidas en el programa computacional. [43] - [44]

La Universidad Pontificia Javeriana en la ciudad de Bogotá en sus programas de educación continua en arquitectura y diseño línea digital, ofrece el curso llamado **Revit Architecture: modelado digital de un proyecto arquitectónico**, dirigido a arquitectos, ingenieros, escenógrafos, delineantes y en general a personas que trabajen en el diseño y la proyección de la arquitectura que requieran herramientas avanzadas para la edición y construcción de planos en 2D y 3D; y en general para trabajar proyectos arquitectónico. [45]

Al igual que las instituciones antes mencionadas la universidad del Valle, en la ciudad de Cali, ofrece también un curso en el *Software Revit Architecture* en varios niveles. Este curso está dirigido a arquitectos, profesores y estudiantes de arquitectura, público interesado del área de la construcción. [46]

Estas tendencias a nivel mundial de inclusión de BIM en la enseñanza de las carreras profesionales afines al sector de la construcción, son la respuesta a un proceso de mejoramiento continuo de las tareas y actividades que hacen parte del desarrollo de un proyecto de construcción. Profesionales con el conocimiento y habilidades en el uso de BIM están siendo altamente demandados por las empresas vinculadas a esta industria y en algunos países del mundo por el sector público; por lo tanto las instituciones académicas encargadas de formar a los profesionales de este campo identifican la necesidad de preparar a los futuros profesionales del sector con las competencias laborales que la industria y el mercado demanden, para así contribuir desde su posición a mejorar los niveles de productividad de la industria y de los profesionales que estas mismas gradúan.

3. REALIDAD VIRTUAL

3.1 DEFINICIONES

Son numerosas las definiciones que se pueden encontrar de lo que significa el término realidad virtual, tantas como investigadores han trabajado en el área, cada uno de ellas basada en su reciente y rápida evolución, lo que la hace un término altamente relativo. Algunas de estas definiciones, referenciadas en el artículo, la realidad virtual y sus impactos en la industria moderna, de Ivan Santelices Malfanti, son las siguientes [47]:

- Realidad virtual, es la experiencia de telepresencia, donde telepresencia es la sensación de presencia utilizando un medio de comunicación.
- Realidad virtual, es una manera mediante la cual los humanos visualizan, manipulan e interactúan con computadoras y datos extremadamente complejos.
- Realidad virtual, es un paso más allá de lo que sería la simulación por computadores, tratándose más bien de una simulación interactiva, dinámica y en tiempo real de un sistema.
- Realidad virtual, consiste en simulaciones tridimensionales interactivas que reproducen ambientes y situaciones reales.
- Realidad virtual, es un entorno de tres dimensiones sintetizado por computadora en el que participantes acoplados de forma adecuada pueden atraer y manipular elementos físicos simulados en el entorno y, de alguna manera, relacionarse con las representaciones de otras personas pasadas, presentes o ficticias, o con criaturas inventadas.
- Realidad virtual, es un ambiente altamente interactivo donde el usuario participa a través del uso de un computador en un mundo virtualmente real. Es una simulación tridimensional por computadora durante la cual el usuario resulta inmerso tan completamente que esta realidad, de origen artificial, aparenta ser real.
- Realidad virtual, es simulación por computadora, dinámica y tridimensional, con alto contenido gráfico, acústico y táctil, orientada a la visualización de situaciones y variables complejas, durante la cual el usuario ingresa, a través del uso de sofisticados dispositivos de entrada, a mundos que aparentan ser reales, resultando inmerso en ambientes altamente participativos, de origen artificial. Una nueva y sorprendente forma de navegar información.
- Realidad virtual, es el medio que proporciona una visualización participativa en tres dimensiones y la simulación de mundos virtuales, siendo dichos mundos el elemento fundamental de un sistema de realidad virtual. La realidad virtual es un entorno generado por computador en el que los participantes pueden entrar físicamente e interactuar con él desplazándose por su interior o

modificándolo de cualquier forma. En su forma más simple, un mundo virtual podría estar compuesto por un edificio tridimensional por el que podríamos desplazarnos, aunque sin modificar nada. Sin embargo, con el equipamiento adecuado, los usuarios podrían ver, desplazarse e interactuar a través de estos entornos gráficos generados por computador.

Para otros autores, como Ortegueira y “et al.” [48], la realidad virtual puede definirse como el medio que proporciona una visualización participativa en tres dimensiones y la simulación de mundos virtuales en tiempo real. Se trata de un entorno generado por ordenador en el que los participantes pueden entrar físicamente e interactuar en él desplazándose por su interior o modificándolo.

Cardozo [49], define la realidad virtual como, un ambiente espacial 3D generado por computadora en el cual el usuario puede participar en tiempo real.

Estas definiciones no se separan mucho de lo que para los informáticos es la realidad virtual; la Universidad Politécnica de Cataluña, define en la página web de la facultad de Informática de Barcelona [50] la realidad virtual como “un sistema informático que genera en tiempo real representaciones de la realidad, que de hecho no son más que ilusiones ya que se trata de una realidad perceptiva sin ningún soporte físico y que únicamente se da en el interior de los ordenadores”.

Sin embargo lo que mejor define la realidad virtual es entender cuáles son las características que presenta; la inmersión, que es la capacidad de abstraer del espacio real al usuario del sistema. Esta se logra a través de estímulos en los sentidos; la presencia, que es la posibilidad del usuario interactuar dentro de ella, por medio de diferentes dispositivos de entrada como sensores de movimiento, de dimensiones, guantes, entre otros; y la interactividad, que permite al usuario realizar acciones dentro del sistema que vayan modificándolo y se obtengan respuestas a través de los sentidos [49].

Una manera de clasificar la realidad virtual está dada por los tipos de mundo que se proyectan dentro del sistema y la manera cómo se puede interactuar con ellos. En un proyecto de realidad virtual se pueden generar tres tipos de mundos virtuales, un mundo muerto, donde no hay objetos en movimiento ni partes interactivas, por lo tanto en ellos solo se permite la exploración y se produce una experiencia pasiva; un mundo real, donde los elementos tienen atributos reales, como al salir a la calle se cruza el usuario con personas y vehículos o al abrir un grifo sale agua; y un mundo fantástico, donde el usuario puede realizar tareas irreales como volar. Este tipo de entorno es que usualmente se usa en los video juegos, sin embargo también permite observar un edificio volando a su alrededor o introducirse dentro de un volcán lo cual lo hace muy interesante para aplicaciones serias. Estos tipos de mundo pueden existir por separado o mezclados entre sí en una aplicación de realidad virtual. [51]

La mayoría de los autores que han clasificado las diferentes tipos de interfaces virtuales coinciden en que existen dos clases, la realidad virtual inmersiva y la realidad virtual no inmersiva; sin embargo de acuerdo a las características de la interface están también se pueden clasificar en las siguientes [48]: **sistemas de ventanas no inmersivos**, lo que algunos autores clasifican como sistemas RV de escritorio [49]- [51] los cuales utilizan un monitor convencional para representar objetos en 3D; **cabina de simulación**, donde el usuario emplea un sistema similar al de ventanas, pero no usa un monitor, sino una cabina en la que experimenta un ambiente especial; un ejemplo de ello son los simuladores de vuelo; **sistema de mapeo por vídeo**, el cual es también llamada realidad proyectada o incluso RV en segunda persona [49], este sistema mezclan una filmación del usuario con una representación gráfica de objetos u otros usuarios de forma que pueda interactuar con ellos, este sistema también puede llamarse Mundo Espejo; **sistema de telepresencia**, el cual conecta al usuario con sensores de un equipo remoto de manera que pueda manejarlo como parte de él, haciendo que repita sus acciones, mientras el sistema simula, para el usuario, el ambiente en el que se está moviendo el agente, un ejemplo de ello es un cirujano que controle unos brazos de robot y opere a un paciente usando unos mandos; y por último los **sistemas inmersivos**, los cuales permiten al usuario

sumergirse en el mundo artificial a través de dispositivos sensoriales, simulando de manera más real la realidad y proporcionando una experiencia en 1ª persona. Por ejemplo un sistema con casco visor y guantes de datos que permita al usuario visitar un museo virtualmente. Dos Santos, en su clasificación menciona el sistema de realidad virtual de proyección y lo define como la realidad virtual de sobremesa, pero dirigida a grupos de personas, el cual se utiliza en conferencias, presentaciones y entretenimiento [51].

Por otro lado se viene desarrollando una nueva tecnología que va de la mano con la realidad virtual: la realidad aumentada, la cual es un entorno digital que permite mezclar imágenes virtuales con imágenes reales. Enriquecen el entorno real con información digital. Consiste en sobreponer imágenes virtuales sobre la realidad que vemos a través de una pantalla. De esta manera, y gracias a que sus aplicaciones son infinitas, difumina la frontera entre el mundo real y el virtual abriendo una nueva dimensión en la manera en la que interactuamos con lo que nos rodea [52].

Estas dos nuevas tecnologías, la realidad virtual y la realidad aumentada, son herramientas con un gran potencial y quizás indispensable en el futuro. Su campo de aplicación es muy amplio en la educación y en la ciencia en general, y su evolución constante las hace ilimitadas en sus posibles aplicaciones, como nuevas formas de comunicación [51].

3.2 LA REALIDAD VIRTUAL EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

Los orígenes de la realidad virtual tal como se conoce hoy en día se remonta a los años sesenta [51], aunque cabe mencionar que en 1958, la Philco Corporation desarrollo un sistema basado en un dispositivo visual del casco, controlado por los movimientos de la cabeza del usuario [47], sin embargo es en los inicios de los 90 que la realidad virtual sale de los ambientes de los laboratorios en busca de aplicaciones comerciales apareciendo las cabinas de entrenamiento para pilotos de guerra, los conocidos simuladores de vuelo, los recorridos virtuales, entre otras muchas aplicaciones [47].

En la industria su uso se ha dado en los campos de la arquitectura, la meteorología, en el ejército, la medicina, estudios moleculares, la música, la psicología, en la industria del entretenimiento, entre otros. El hecho de que los sistemas cada vez sean más baratos y que haya aparecido la posibilidad de alquilar centros de recreación virtual por días, ha permitido que distintos sectores de la industria se interesen por probar virtualmente sus productos antes de fabricarlos “realmente”. El resultado final mejora siempre gracias a estas pruebas, además de que suelen ahorrar mucho tiempo y dinero a los empresarios. Para el sector industrial, la realidad virtual ya representa un mercado de 1.500 millones de dólares, con un crecimiento anual del 10% al 12%. [53].

En el sector de la construcción la realidad virtual es usada para desarrollar modelos de proyectos arquitectónicos, edificios e infraestructura, antes de ser construidos, para permitir verificar procesos, diseños y coordinar su ejecución con mayor precisión; por otro lado su uso también permite reconstruir edificios u objetos que hayan colapsado o que sufran deterioro, con el fin de determinar las causas y los pasos necesarios para su reconstrucción o demolición, si es el caso.

En la actualidad en el mundo existen empresas que prestan servicios de modelado virtual. Un ejemplo de ello es el caso de Vianova Systems, la cual proporciona soluciones integrales de software para infraestructura; es una empresa consultora de proyectos de nuevas tecnologías y desarrollo de software para ingeniería civil, que actualmente cubre no sólo el diseño de las carreteras sino también el análisis de impacto acústico para la elaboración de mapas de ruido y la representación en realidad virtual de los proyectos [54]. La red de Vianova está formada por 16 oficinas en 10 países de Europa y Asia; tiene compañías propias en Noruega, Suecia, Finlandia, Reino Unido, Francia, Bélgica, España y Estonia. Todas estas oficinas dan servicio a los clientes con soluciones de software y servicios para las infraestructuras. En Tailandia y Vietnam Vianova tiene dos hubs de desarrollo además de los numerosos distribuidores y socios por todo el mundo [55].

VirtualWare Group es otra de las empresas dedicadas a desarrollar aplicativos en realidad virtual y realidad aumentada; en la actualidad se encuentra trabajando sobre la evolución histórica en 3D del complejo de Gizah, desarrollando una reconstrucción virtual del complejo arqueológico. Una recreación en 3D que muestra la evolución del emplazamiento a lo largo de los años, mediante una animación que narra la historia de cómo se erigieron las tres grandes pirámides de la dinastía IV. Este proyecto se encuentra enmarcado en un ambicioso programa de mejora de emplazamientos arqueológicos para el Ministerio de Cultura egipcio [56].

Por otro lado esta misma compañía desarrollo para el grupo Lábaro un conjunto de soluciones como herramientas de venta de un proyecto de vivienda en Guadalajara. Los profesionales de Virtualware realizaron una maqueta en realidad virtual, en la que se podía interactuar a tres niveles: realizar un vuelo aéreo por la superficie total, hacerlo sobre cualquiera de las manzanas y pasear a pie de calle a lo largo de toda su extensión, en cada caso con un nivel progresivamente mayor de detalle sobre las características de los edificios y los espacios comunes. Sobre esta maqueta virtual, presentada en una pantalla de 1,80 m de ancho x 2 m de alto, se podía mover el usuario simplemente desplazando su mano sobre el entorno virtual, para adoptar la perspectiva deseada [57].

Otro ejemplo claro de este tipo de servicios es la empresa española, Gedespro de diseño 3D inforgrafía y vídeo, la cual realiza simulaciones y modelos 3D en ingeniería y diseño industrial, videos 3D, visitas virtuales, procesos constructivos, entre otros [58] .

En países como México, existen muchas empresas dedicadas a la realidad virtual y que prestan sus servicios al sector de la construcción, algunas de ellas son Global Virtual, Simbelmyes, realidad virtual arquitectónica, Aguascalien3D, todas ellas ofrecen servicios de modelado 3D de las edificaciones y recorridos virtuales.

En Argentina, el proyecto Ocraba – proyecto de autopista ribereña de Buenos Aires, desarrollo una maqueta virtual del área del Puerto Madero la cual permitió evaluar el impacto visual del proyecto desde distintos puntos de la zona, permitiendo al usuario moverse a través de los espacios de modelado en tiempo real [57].

Por otra parte se destacan hechos como el de la empresa dedicada a la programación web y a la simulación 3D, Optalia, especializada en ofrecer servicios a aquellas empresas relacionadas con el mundo de la arquitectura y la construcción, en lo que se refiere a programación y diseño web, plataformas de comercio electrónico y tiendas online, marketing online y posicionamiento web, gestión empresarial, simulación 3D y la realidad virtual; la cual en la rama de la simulación 3D, se especializan en la animación 3D con un especial hincapié en grandes proyectos del sector hospitalario, hotelero, cultural, educativo, deportivo, penitenciario y residencial [59]; la cual fue galardonada con el primer premio en la VIII convocatoria de los premios de AJAC, (Asociación de Jóvenes Arquitectos de Cataluña), en el ámbito del emprendimiento, con el proyecto "El Navegante", una plataforma de realidad virtual de conceptualización arquitectónica y simulación 3D inmersiva e interactiva. El proyecto es un software de visualización y edición inmersiva que incluye todo lo necesario para crear representaciones virtuales de espacios arquitectónicos de alta calidad [60].

Sin embargo los altos costos de la infraestructura necesaria para su desarrollo, conllevan a las empresas del sector de la construcción a buscar la realidad virtual como un servicio adicional subcontratado, ya sea en la fase de planeación y diseño, o en la etapa de construcción y no como una dependencia o proceso en la misma empresa. De ahí que sean las universidades y centros de formación e investigación en las cuales se desarrollan programas en el área de la construcción, donde se da mayor desarrollo a este tipo de tecnologías aplicadas a dicha industria y que se ponen a disposición de las empresas.

Una de las universidades que pone al servicio de la industria de la construcción y el diseño servicios de realidad virtual, es el Instituto tecnológico de Castilla y León, el cual desarrolla proyectos de captura de movimiento en tiempo real, estereoscopia, tracking, simulación de vehículos, videojuegos, visitas virtuales, escaneado 3D, entre otros, cuya línea principal de trabajo va orientadas a su aplicación en el entorno industrial. Esta universidad ofrece entre muchos servicios, la simulación de procesos industriales, la cual permite la corrección de problemas en la fase de diseño y la reconstrucción del patrimonio histórico, para el sector. Actualmente se encuentran desarrollando el proyecto, simulador de carretillas elevadoras, cuyo objetivo es entrenar operadores de carretillas y maquinaria de manipulación de cargas”, en colaboración con Carretillas Mayor S.A. y con la Universidad de Zaragoza [61].

El centro de realidad virtual T-Systems, ofrece servicios de realidad virtual con la colaboración de distintas universidades de España y cuenta dos centros de realidad virtual (CRV), uno en Barcelona y otro en Madrid. El centro de realidad virtual de Barcelona, situado en el parque Tecnológico de La Salle, es el primer CRV público del sur de Europa. El de Madrid, desarrollado junto a la Universidad Politécnica de la ciudad, es el primer CRV público en Europa que dispone de una CAVE de cinco caras, que ofrece servicios de Realidad Virtual tanto a grandes, medianas y pequeñas empresas como a instituciones públicas. En las instalaciones, el grupo de realidad virtual pone en marcha proyectos en diferentes campos como la cirugía virtual, la realidad aumentada aplicada a la Industria o el post proceso de resultados de simulación en ingeniería civil y obras públicas [62].

Otro ejemplo es la fundación i2CAT que ha impulsado en España el proyecto europeo Visionair, el cual pone a disposición de cualquier empresa y entidad las principales infraestructuras europeas en el ámbito de la realidad virtual, la visualización científica, la Ultra Alta Definición, la realidad aumentada y los servicios virtuales [63].

El laboratorio de realidad virtual del Grupo de Investigación en Informática Gráfica de la Universidad Granada promueve y apoya la investigación en Informática gráfica y realidad virtual. Está integrado en el Centro de Investigación en Tecnologías de La Información y de las Comunicaciones de la Universidad De Granada (CITIC-UGR) y ofrece servicios de digitalización 3D, creación de mundos virtuales, visualización inmersiva y desarrollo de software gráfico interactivo a la Universidad de Granada, otros organismos públicos y empresas privadas. El laboratorio dispone de infraestructura para realizar visualización inmersiva, interacción háptica y digitalización 3D. Entre sus proyectos tiene desarrollar vehículos aéreos no tripulados para la digitalización automática de fachadas de edificios históricos con el objetivo es analizar los requerimientos y desarrollar un sistema que permita obtener un modelo 3d de una fachada de un edificio histórico de forma automática, con la mínima intervención humana posible, con un costo inferior a las alternativas disponibles en la actualidad y con una reducción del impacto ambiental durante la elaboración de los modelos, con el fin de ayudar a la conservación y catalogación del patrimonio histórico de la ciudad [64].

La Universidad Nacional Autónoma de México presta servicios de visualización y realidad virtual en el Observatorio Ixtli, cuyo principal propósito es poner a disposición de la comunidad universitaria, entidades públicas y sociedad en general, su infraestructura y recursos humanos especializados en el empleo y desarrollo de ambientes virtuales y visualización científica [65].

Por otra parte en Colombia, la alianza entre la universidad EAFIT y el centro de investigación y desarrollo para la industria de la construcción (Cidico), desarrollo un centro de realidad virtual para la construcción, el cual ofrece a la industria del sector, el servicio de modelado y visualización en realidad virtual de proyectos de construcción en su fase de diseño, planificación y ejecución [66].

Otro aporte importante al sector lo ha dado el Centro de Investigación Técnica VTT de Finlandia, que ha desarrollado una tecnología de realidad aumentada (RA) que permite situar una oficina o una obra residencial en el entorno más apropiado, así como la visualización de cualquier construcción en

ciernes directamente sobre el terreno (incluso en su estadio de planificación) con dispositivos portátiles, como el smart phone, el ordenador o el iPad. Esta tecnología además de los beneficios que ofrece a los expertos en desarrollo y planificación de edificios, también ofrece ventajas a los diseñadores de los interiores de los hogares, ya que posibilita el rediseño completo de las estructuras, así como la posibilidad de amueblar virtualmente habitaciones enteras para ver cómo quedan. Las aplicaciones de software de VTT han sido desarrolladas por la empresa VividWorks Ltd., y ya se están usando en la web de Vepsäläinen Ltd., una cadena de muebles finlandesa. [67]

3.3 LA REALIDAD VIRTUAL EN LA ENSEÑANZA

En el ámbito de la educación superior el incorporar este tipo de herramientas, es un hecho que se viene presentando. En algunos entes educativos se han implementado cursos en diferentes áreas que han permitido ver el potencial que tiene estas herramientas en la adquisición del conocimiento. Su utilización como herramienta y espacio de aprendizaje se está anunciando como un instrumento prometedor para el desarrollo de estrategias educativas, especialmente en la enseñanza a distancia Online [68]. Ejemplo de ello es el proyecto AutomatL@bs, el cual consiste en una red de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática, coordinado desde la universidad UNED y en el cual participan la Universidad de Alicante, Universidad de Almería, Universidad de León, Universidad Miguel Hernández, Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad Politécnica de Valencia [69].

En muchas áreas del conocimiento se dan ejemplos de la implementación de realidad virtual como herramienta de enseñanza, ya sea a nivel de investigación o como nueva metodología dentro del contenido programático de algunas materias. Tal es el caso del proyecto la enseñanza práctica del derecho en 3D, de Esther Monterrosa y Raquel Escutia Romero, donde se hace alusión al uso de la plataforma Second Life para recrear una sala de juicio donde los estudiantes acuden a la práctica de su profesión en un ambiente de simulación de un juicio real, bajo diferentes roles [70]. También en la medicina se han desarrollado aplicativos para realizar con los estudiantes prácticas de cirugías, imagenología médica y neurología. Al igual que en la psicología donde se está utilizando esta herramienta en el tratamiento de fobias.

Otro ejemplo es el uso de estas aplicaciones para el entrenamiento militar es INMERSim plataforma donde se realiza entrenamiento militar para la toma de decisiones críticas, mediante el uso de la realidad virtual inmersiva [71]. Otro caso similar es el realizado en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) donde se viene desarrollando simuladores para el entrenamiento de personal en el manejo del periscopio de submarinos denominado SIPER. [72]

En algunas universidades se viene desarrollando aplicaciones para apoyar la enseñanza de algunos conceptos en diferentes áreas del conocimiento, tal es el caso del trabajo, la simulación como herramienta de aprendizaje en física, que estudia el efecto de la aplicación de un diseño instruccional apoyado con simulaciones asistidas por el computador, en un grupo de estudiantes que cursaban la asignatura física a nivel universitario [73].

El campo de la educación no formal es también beneficiado actualmente por este tipo de herramientas de realidad virtual y realidad aumentada. Ejemplo de ello son los museos los cuales están adoptando, de una manera masiva, los últimos avances en tecnologías de la información, tanto para su funcionamiento interno, como para la presentación de los contenidos que ponen a disposición del público a través de, por ejemplo, exposiciones interactivas, mejorando, de manera substancial, la experiencia obtenida por los visitantes [74]. Algunos casos mencionados y analizados en el artículo realidad virtual: un medio de comunicación de contenidos, aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implementación en museos y espacios públicos, de Antonio Otero Franco y Julián Flores González, son el Botafumerio RV, donde se recrea la denominada liturgia del botafumeiro en

la catedral de Santiago de Compostela y viaje submarino, donde por medio de la realidad virtual inmersiva se muestra un entorno natural denominado el fondo marino de la Ría de Vigo, donde se describe e informa de la riqueza y variedad natural de Galicia.

En la enseñanza de la ingeniería civil y la arquitectura, se presentan casos como el de la Universidad de Sherbrooke, en Canadá, , en la cual se ha desarrollado un laboratorio de visualización inmersiva en 3D de alta definición, que además de la visualización de inmersión de escenas dinámicas, permite una representación espacial de fenómenos en medicina, ingeniería, historia, psicología, educación y comercio, entre otros. En este laboratorio se pueden visitar lugares históricos y observar los detalles de las estructuras arquitectónicas como si se estuviera presente. El laboratorio se presenta como una bóveda de cuatro pantallas fijas y un sistema estereoscópico pasivo que muestra hasta 120 cuadros por segundo. La bóveda está conectada a una unidad de cálculo de 5,200 núcleos que forman parte del superordenador Mammuth (el más potente de Canadá) y a una unidad de almacenamiento ultra rápido tipo SAN [75].

La universidad de Sevilla (Escuela Técnica Superior de Arquitectura) desarrolló un curso de introducción a la realidad virtual y la realidad aumentada en colaboración con el aula de realidad virtual de la ETSAS, integrante del centro IND (Innovación y Diseño) de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura. El curso llamado, Iniciación a las técnicas de realidad virtual y realidad aumentada aplicadas a la arquitectura, diseño y artes digitales, partió de la existencia de la nueva aula de realidad virtual en la escuela de arquitectura de Sevilla, dotada de un sistema de proyección estereoscópica, diversos dispositivos de visualización, software Virtools, cámaras equipadas con sensores para el reconocimiento de volúmenes-movimiento. El curso plantea a los estudiantes la exploración de los campos de la realidad virtual y la realidad aumentada y de las herramientas disponibles en el laboratorio y en la práctica se trabaja con modelos 3D en diferentes plataformas para analizar su potencial en entornos de realidad virtual y/o aumentada con los medios disponibles. [76]

En el observatorio IXTLI de la Universidad Nacional Autónoma de México, se han desarrollado diferentes aplicativos de realidad virtual que están al servicio de los docentes de la institución y de personal externo. En el área de las ciencias, físico, matemáticas y de las ingenierías, han desarrollado diferentes aplicativos de realidad virtual, algunos de ellos, que se encuentran en la página del observatorio son el desarrollo y mejoramiento de la habilidad espacial, lugares geométricos en el espacio cartesiano tridimensional, gavitimetría, sismos vulcanotectónicos, geomática, métodos electromagnéticos, y propagación de ondas sísmicas [77].

Esta tecnología de realidad virtual en algunas academias se trabaja como complemento a la metodología BIM, permitiendo navegar los modelos desarrollados en software de modelado paramétrico en realidad virtual inmersiva. Esta unión permite verificar elementos de diseño en todos los componentes de la edificación o infraestructura y por lo tanto obtener una mayor planificación de los procesos de ejecución. Los modelos visualizados mediante la realidad virtual inmersiva aportan enormemente a la comunicación entre las diferentes disciplinas y sus autores de manera que todos vean, trabajen y persistan el ambiente diseñado sobre una misma representación gráfica. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado por la Universidad EAFIT de Colombia, con su sala de realidad virtual inmersiva, en la facultad de Ingeniería, que presta servicios a la industria de la construcción en la implementación de BIM y realidad virtual en proyectos del sector y que se encuentra en la actualidad desarrollando investigaciones encaminadas a implementar estas tecnologías en la enseñanza, en el pregrado de ingeniería civil, con el propósito de impactar en la formación de los nuevos profesionales y que pretende generar grandes beneficios al sector industrial en un futuro cercano.

4. CONSIDERACIÓN FINAL

La formación de los actuales y futuros profesionales de la construcción, que aporten a la innovación y desarrollo de los países debe ir de la mano con las nuevas tecnologías presentes en el mercado. La realidad virtual y la metodología BIM (Building Information Modeling) son parte de estas nuevas tecnologías que se vienen implementando en la industria y en la formación de actores del sector de la construcción. El incremento en su implementación en la industria de la construcción en algunos países, permite evidenciar que su uso está en constante crecimiento, y que por lo tanto el sector requiere de personal con las competencias requeridas para responder a las nuevas exigencias del mercado y la complejidad de los proyectos. Es por esta razón que la academia que tiene a su cargo la responsabilidad de formación de los futuros profesionales de la industria de arquitectura, ingeniería y construcción debe apostar a implementar estas tecnologías en sus currículos de formación profesional para impactar positivamente en la generación de economías del conocimiento y responder a los retos que están imponen al sector industrial.

El recuento de diferentes experiencias de implementación a nivel industrial reportados en este artículo y los esfuerzos realizados por la academia que aunque incipientes aun, demuestran la importancia que adquiere actualmente la adopción de las tecnología de información y comunicaciones para responder a un mercado dinámico y cada vez más exigente en el desarrollo de proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Orduz, «Sociedad del Conocimiento y Tecnologías de la Información,» de *Aprender y educar con las tecnologías del siglo XXI*, Bogotá, Colombia, 2012, pp. 11-14.
- [2] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, «www.mintic.gov.co,» [En línea]. [Último acceso: 02 10 2013].
- [3] A. Benuto Vera, «Las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) en la docencia universitaria,» *Theoria*, pp. Vol. 12: 109-118, 2003.
- [4] E. Martínez y S. Sánchez, «Educación y didáctica,» [En línea]. Available: <http://www.uhu.es/cine.educacion/didactica/000didactica.htm>. [Último acceso: 14 Agosto 2013].
- [5] A. Cuadrado Alvarado, «Utopías y distopías de los medios digitales para la Educación,» *Icono 14*, vol. 2, nº Año 9, pp. 05-20, 2011.
- [6] J. I. Santos, J. M. Galán, L. R. Izquierdo y R. del Olmo, «Aplicaciones de las Tic en el nuevo modelo de enseñanza del EEES,» de *3 International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, Barcelona-Terrassa, 2009.
- [7] D. Valencia Restrepo, «Crisis y futuro de la ingeniería,» *Ingeniería y Sociedad*, nº 1, 2010.
- [8] C. Palacio, «Tendencias y desafíos en la formación de Ingenieros Civiles,» *Ingeniería Y Sociedad*, nº 6, pp. 11-19, 2013.
- [9] Autodesk, Inc., «Autodesk,» Septiembre 2013. [En línea]. Available:

<http://usa.autodesk.com/building-information-modeling/about-bim/>.

- [10] R. G. Kreider y J. I. Messner, «The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses,» State College-Pennsylvania, 2013.
- [11] L. Chuan Seng, «Singapore BIM guide,» Singapore, 2012.
- [12] New York city department of design and construction, *BIM guidelines*, 2012.
- [13] National Institute of Building Sciences, Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.wbdg.org/bim/bim.php>.
- [14] U.S. General Services Administration, *BIM Guide Series*, 2007.
- [15] V. Singh, N. Gu y X. Wang, «A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform,» *Automation in Construction*, p. 11, Noviembre 2010.
- [16] P. Prieto Muriel, *Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería*, 2012.
- [17] McGraw Hill Construction, *The businnes Value of BIM*, 2009.
- [18] McGraw Hill construccion, *The bussines value of BIM in europe*, 2010.
- [19] Department of industry, innovation, science, research and tertiary education, *National Building Information Modeling Iniatiative*, 2012.
- [20] BuildingSMART International Ltd., «BuildingSMART International,» octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org>.
- [21] BuildingSMART International., «BIMJournal.,» octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.bimjournal.com>.
- [22] BIM journal , *BIM journal VOL 3*, 2012.
- [23] L. Khemlani, «AECbytes,» octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.aecbytes.com>.
- [24] The Construction Index, octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.theconstructionindex.co.uk>.
- [25] A. Wong Kam-din, F. Wong Kwan-wah y A. Nadeem, «Building information modelling for tertiary construction education in Hong Kong,» *Journal of Information Technology in Construction*, vol. Vol. 16, p. 10, Febrero 2011.
- [26] Institute for BIM in Canada, *Executive Summary BIM survey*, 2012.
- [27] NATSPEC Building Information Modelling Portal, «NATSPEC BIM Portal,» [En línea]. Available: <http://bim.natspec.org>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [28] MarketWatch, Inc., octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.marketwatch.com>.

- [29] WPL Publishing , octubre 2013. [En línea]. Available: <http://constructionpronet.com>.
- [30] Building.co.uk, «Building.co.uk,» octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.building.co.uk>.
- [31] J. P. Mohsen y R. R. Issa, «BIM implementation in civil and construction engineering curricula,» 2012.
- [32] R. Sacks y R. Barak, «Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of freshman year civil engineering education,» *Journal of professional issues in engineering education and practice*, p. 9, 2010.
- [33] J.-L. Kim, «Use of BIM for Effective Visualization Teaching Approach in Construction Education,» *Journal of professional issues in engineering education & practice*, nº 223, p. 10, 2012.
- [34] McGraw Hill Construction SmartMarket, Report, «Building Information Modeling: Transforming design and construction to achieve greater industry productivity,» 2008.
- [35] J. M. Taylor, J. Liu y M. F. Hein, «Integration of Building Information Modeling (BIM) into and integration of Building Information Modeling (BIM) into an,» 2008.
- [36] A. Wong Kam-din, F. Wong Kwan-wah y A. Nadeem, «Buildins information modelling for tertiary construction education in Hong Kong,» *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 16, p. 10, Febrero 2011.
- [37] F. J. Sabongi y M. Arch, «The Integration of BIM in the Undergraduate Curriculum: an analysis of undergraduate courses,» Mankato, Minnesota, 2009.
- [38] C. M. Clevenger, M. E. Ozbek y S. G. Dale Porter, «Integrating BIM into Construction Management Education,» Fort Collins, 2011.
- [39] J. R. Baeza Pereyra y G. Salazar Ledezma, «Congreso nacional de administración y tecnología para la arquitectura, ingeniería,» de *El modelo integrado para la construcción en la enseñanza de la ingeniería civil y ambiental*, 2008.
- [40] Universidad San Pablo de Madrid, «<http://www.uspceu.com/es/home.php>,» Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://oliebana.files.wordpress.com/2012/12/iniciativa-bim-en-la-universidad.pdf>. [Último acceso: 29 10 2013].
- [41] George Brown College, octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.georgebrown.ca>.
- [42] Universidad Nacional sede Medellín; graficación, Laboratorio de, octubre 2013. [En línea]. Available: http://www.unalmed.edu.co/noticias/email_masivos/Arquitectura/comunicarq_FA.pdf.
- [43] Universidad San Buenaventura, octubre 2013. [En línea]. Available: http://www.usbmed.edu.co/Servicios/Centro_de_Innovacion_y_Transferencia_del_Conocimiento-ITER/web/revit_architecture.aspx.
- [44] Institucion universitaria Colegio Mayor de Antioquia, octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.campusvirtualelmayor.edu.co/extension/modulos.php?name=Articulos&id=6>.

- [45] Pontificia Universidad Javeriana, Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://educon.javeriana.edu.co/continua/catalogoDetalle.asp?Ce=11428&E=1111110&#S4>.
- [46] Universidad del Valle, « Universidad del Valle, » octubre 2013. [En línea]. Available: http://www.univalle.edu.co/eventos/muestra_evento.php?id=2639.
- [47] I. Santelices Malfanti, *La realidad virtual y sus impactos en la industria moderna*, Chile, 2002.
- [48] C. Ortigueira España, M. Reigosa García, M. Rodríguez Fernández, C. Santamaría González y J. Veiga Fachal, «Gráficos en Computación, Aplicaciones del 3D, Realidad Virtual,» [En línea]. Available: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/Realidad%20Virtual/web/introduccion.html>. [Último acceso: 10 2013].
- [49] H. J. Cardozo, *Realidad Virtual*, 2004.
- [50] Facultat d'Informàtica de Barcelona, «Facultat d'Informàtica de Barcelona,» [En línea]. Available: <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/realitatvirtual.html>. [Último acceso: 29 10 2013].
- [51] D. Dos Santos, «Teoría y aplicaciones de la Informatica 2. Realidad Virtual,» 09 2007. [En línea]. Available: http://www.jeuazarru.com/docs/Realidad_Virtual.pdf. [Último acceso: 09 2013].
- [52] GITS Informatica, Seguridad informatica y delitos telemáticos, «GITS Informatica.,» [En línea]. Available: <http://www.gitsinformatica.com/ra.html>. [Último acceso: 10 2013].
- [53] M. Morales, «Tendencias 21. Tendencias de las Telecomunicaciones. La realidad virtual se integra en los procesos industriales,» 16 01 2007. [En línea]. [Último acceso: 10 2013].
- [54] mi+d, «mi + d,» [En línea]. Available: <http://www.madrimasd.org/queesmadrimasd/>.
- [55] Vianova Systems Spain, «Vianova,» [En línea]. Available: http://www.vianova.es/Acerca-de#.UnHEY_IdB2A. [Último acceso: 10 2013].
- [56] VirtualWare Group, [En línea]. Available: <http://virtualwaregroup.com/es/evolucion-historica-3d-gizah/>.
- [57] «Realidad Virtual 2. Realidad Virtual aplicado en la construcción,» 24 06 2008. [En línea]. Available: <http://relidadvirtual.blogspot.com/2008/06/relidad-virtual-aplicado-en-la.html>. [Último acceso: 10 2013].
- [58] Gedespro 3D, «Diseño 3D, Inforgrafía y vídeo,» [En línea]. Available: <http://www.gedespro3d.com/>. [Último acceso: 10 2013].
- [59] OptaliaGroup, «OptaliaGroup,» [En línea]. Available: <http://www.optalia.com/nosotros.jsp>. [Último acceso: 10 2013].
- [60] OptaliaGroup, «OptaliaGropup. Actualidad, Noticias,» 22 11 2012. [En línea]. Available: <http://www.optalia.com/actualidad.jsp>. [Último acceso: 10 2013].

- [61] ITCL, Instituto Tecnológico de Castilla y León, «ITCL, Instituto Tecnológico de Castilla y León,» [En línea]. Available: <http://www.itcl.es/Microarrays-Series-Temporales/?noticia=38>. [Último acceso: 10 2013].
- [62] T-systems, Centro de Realidad Virtual, 2011. [En línea]. Available: http://www.crviberia.com/?page_id=52. [Último acceso: 10 2013].
- [63] Lainformacion.com, «La UE pone la realidad virtual a disposición de empresas españolas a través de i2CAT,» 25 03 2013. [En línea]. Available: http://noticias.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/empresas/la-ue-pone-la-realidad-virtual-a-disposicion-de-empresas-espanolas-a-traves-de-i2cat_hmQIMPoiuW7BKwaYzOMwE7/. [Último acceso: 10 2013].
- [64] Grupo de Investigación en Informática Gráfica de la Universidad Granada, «Laboratorio de Realidad Virtual, Vehículos aéreos no tripulados para la digitalización automática de fachadas de edificios históricos,» [En línea]. Available: http://lrv.ugr.es/?Proyectos_y_L%C3%ADneas_de_investigaci%C3%B3n___Veh%C3%ADculos_a%C3%A9reos_no_tripulados_para_la_digitalizaci%C3%B3n_autom%C3%A1tica_de_fachadas_de_edificios_hist%C3%B3ricos. [Último acceso: 10 2013].
- [65] Universidad Autónoma de México, Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, «Observatorio Ixtli,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.ixtli.unam.mx/>. [Último acceso: 10 2013].
- [66] U. E. Agencia de Noticias, «Universidad EAFIT,» 27 4 2012. [En línea]. Available: <http://www.eafit.edu.co/agencia-noticias/historico-noticias/2012/abril/Paginas/investigacion-realidad-virtual-para-la-construccion.aspx#.UnHWKfldB2A>. [Último acceso: 4 2010].
- [67] Y. Martínez, «Tendencias21, Tendencias Tecnológicas, Aplican la Realidad aumentada a la planificación urbana y de construcciones,» 12 04 2012. [En línea]. Available: http://www.tendencias21.net/Aplican-la-Realidad-aumentada-a-la-planificacion-urbana-y-de-construcciones_a11129.html. [Último acceso: 10 2013].
- [68] T. C. Rodríguez García y M. Baños González, «E-Learning en Mundos Virtuales 3D, Una experiencia educativa en Second Life,» *Icono 14, año 9 Vol 2*, pp. 39 - 58, 2011.
- [69] J. L. Guzmán, M. Domínguez, M. Berenguel, J. J. Fuertes, F. Rodríguez y P. Reguera, «Entornos de experimentación para la Enseñanza de Conceptos Básicos de Modelado y Control,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol 7, Número 1*, pp. 10 - 22, 2010.
- [70] E. Monterroso Casado y R. Escutia Romero, «Educación Inmersiva: Enseñanza Práctica del Derecho en 3D,» *Icono 14, Año 9 Vol 2*, pp. 84 -100, 2011.
- [71] D. A. Camarasa y O. M. Bianchi, «Desarrollo de Software de simulación inmersiva para fracciones heterogéneas INMERsim,» 2012. [En línea].
- [72] G. Boroni, P. Vagliati y M. Vénere, «Realidad virtual aplicada al entrenamiento,» 2003. [En línea].
- [73] L. Casadei Carniel, M. Cuicas Avila, E. Debel Chourio y Z. Alvarez Vargas, «La Simulación como Herramienta de Aprendizaje en Física,» *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en*

Educación, Vol 8, Núm 2, pp. 1- 27, 2008.

- [74] A. Otero Franco y J. Flores Gonzáles, «Realidad Virtual: Un medio de comunicación de contenidos. Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos,» *Icono 14, Año 9 vol 2*, pp. 185 - 211, 2011.
- [75] C. Fortin, «Nuevo laboratorio en UdeS 3D para revolucionar la enseñanza y la investigación académica,» 16 4 2013. [En línea]. Available: <http://www.usherbrooke.ca/sciences/accueil/nouvelles/nouvelles-details/article/21709/>. [Último acceso: 10 2013].
- [76] Í. Ariza, J. Pérez de Lama y Á. Osuna, «Programación “Iniciación a las técnicas de realidad virtual y realidad aumentada aplicadas a la arquitectura, diseño y artes digitales,» Sevilla, 2009.
- [77] Universidad Nacional Autónoma de México, [En línea]. Available: http://www.ixtli.unam.mx/catalogo_contenido_ixtli/catalogoVideos/a_fmi.html.