

02-017

THE MANAGEMENT OF THE BIM PROJECT IN THE WORKS EXECUTION PHASE THROUGH THE VDC (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION).

Lucena González, Carlos ⁽¹⁾; Rosa Roca, Nuria ⁽²⁾; Villena Manzanares, Francisco ⁽³⁾

⁽¹⁾ UCAM. Universidad Católica de Murcia, ⁽²⁾ UCAM. Universidad Católica de Murcia, ⁽³⁾ Universidad de Sevilla

The AEC (Architecture, Engineering and Construction) sector in Spain is transforming due to the BIM (Building Information Modeling) methodology. BIM involves collaborative work for the management of building or civil works projects through a digital information model. Currently, it is observed that there is a growing trend in the use of BIM in the design phase of the project, due to the mandatory nature of its use by the contracting bodies. Now we ask ourselves: are the companies in the AEC sector prepared to implement the BIM methodology in the Execution Phase on site? This implementation requires both collaborative work in the cloud between the different agents in the construction process and the transmission of adequate information. The objective of this work is to propose a method that allows the Project Management to carry out an adequate BIM implementation in the Execution Phase, relying at all times on the information from the VDC (Virtual Design Construction) previously developed in BIM Methodology, both for Work Planning (BIM 4D) as well as for the economic quantification, control and certification of the work phases (BIM 5D).

Keywords: BIM; VDC; project management.

LA GESTIÓN DEL PROYECTO BIM EN FASE DE EJECUCIÓN DE OBRAS MEDIANTE EL VDC (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION).

El sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) en España se está transformando debido a la metodología BIM (Building Information Modeling). BIM implica el trabajo colaborativo para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de un modelo digital de información. Actualmente se observa que existe una tendencia creciente en el uso de BIM en la fase de diseño del proyecto, debido a esta obligatoriedad de su uso por los órganos de contratación. Ahora nos preguntamos: ¿están preparadas las empresas del sector AEC para implementar la metodología BIM en la Fase de Ejecución a pie de obra? Dicha implementación requiere tanto trabajo colaborativo en la nube entre los diferentes agentes del proceso de construcción como la transmisión de información adecuada. El objetivo de este trabajo es proponer un método que permita a la Dirección Facultativa realizar una adecuada implementación BIM en la Fase de Ejecución, apoyándose en todo momento en la información del VDC (Virtual Design Construction) desarrollado previamente en Metodología BIM, tanto para la Planificación de Obra (BIM 4D) como para la cuantificación económica, control y certificación de las fases de obra (BIM 5D).

Palabras claves: BIM; VDC; gestión de proyectos.

Correspondencia: Carlos Lucena González clucena@alu.ucam.edu / Francisco Villena Manzanares fvillena@us.es



1. Introducción

El sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) en España se está transformando gracias a la implantación obligatoria del uso de la metodología BIM (Building Information Modeling). BIM implica el trabajo colaborativo para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de un modelo digital 3D. En España es obligatorio BIM en licitaciones públicas de edificación desde el 17 de diciembre de 2018, como en licitaciones públicas de infraestructuras desde el 26 de julio de 2019. Actualmente se observa según los datos que arrojan los informes de la extinta comisión BIM (Comisión Interministerial, 2021) existe una tendencia creciente en el uso de BIM en la fase de diseño del proyecto, debido a esta obligatoriedad de su uso por los órganos de contratación. La original comisión BIM nacida en 2015 ha sido sustituida por la Comisión Interministerial durante 2020 (Comisión Interministerial, 2021). En la tabla 1 se representa cada una de las definiciones que podemos encontrar en la literatura científica acerca de la Metodología BIM.

Figura 1: Se numeran y especifican cada una de las definiciones que podemos encontrar en la literatura científica acerca de la Metodología BIM

Dzambazova et al.	2009	BIM puede definirse como la gestión de la información a través de todo el ciclo de vida de un proceso de diseño, desde el inicio del diseño conceptual hasta la gestión de la construcción.
Tekla	2013	BIM como el proceso de modelado y comunicación de la estructura de un edificio en detalle para beneficiar todo el ciclo de vida del mismo.
Miettinen y Paavola	2014	BIM como una representación digital de objetos visuales paramétricos (objetos 3D) que incluyen información geométrica, así como información funcional, semántica y topológica relacionada con los diferentes procesos y aplicaciones que intervienen durante el ciclo de vida de los edificios.
Succar y Kassem	2015	BIM como la expresión actual de innovación digital en el sector de la construcción.
Oesterreich y Teuteberg	2016	BIM como clave facilitadora de la transformación digital que acontece al sector AEC, y al mismo tiempo brinda una oportunidad para poner orden en el sector con paradigmas emergentes dentro del entorno como: el Internet de las cosas (IoT), el uso de sensores inteligentes en los edificios, la conectividad y el Big Data.
Pellicer et al.	2019	BIM es el proceso integrado y participativo que mejora la representación digital de los proyectos y optimiza el análisis de la construcción (tiempos, costes y procedimientos), para garantizar el éxito en la ejecución del proyecto.

Como se puede observar en la figura, ningún autor hace referencia en su definición de la metodología BIM al hecho de que la tecnología digital BIM pueda utilizarse para evitar desviaciones presupuestarias en obra. En la literatura existen muchas definiciones entorno al concepto “BIM” como se puede deducir de la Figura 1. Podemos concluir que BIM significa cambio tecnológico, y es una nueva tecnología al alcance de las empresas del sector AEC (Arquitectura Ingeniería y Construcción) que aporta novedosas herramientas para el control del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Se recuerda que el ciclo de vida de un proyecto de construcción incluye diseño, construcción, mantenimiento y demolición. El control BIM en la fase de ejecución hace referencia principalmente al tema económico o presupuestario ya que BIM 5D permite tanto verificar las mediciones en el modelo digital, así como obtener los

presupuestos en la fase de ejecución de la obra, aplicando una base de precios a cada unidad de obra del modelo.

2. Objetivos

Ahora surge la siguiente cuestión: ¿están preparadas las empresas del sector AEC para implementar la metodología BIM en la Fase de Ejecución a pie de obra? Para responder lo anterior es necesario saber que implementar BIM requiere cambiar a una cultura flexible colaborativa entre los diferentes agentes del proceso de construcción. El trabajo colaborativo incluye actividades tanto de transparencia en el proyecto como de transmisión de la información adecuada para evitar errores. Las opciones para trabajar de forma colaborativa con el modelo virtual son tres:

- Misma ubicación física: red de trabajo LAN (Local Area Network).
- Varias ubicaciones físicas: red de trabajo WAN (Wide Area Network).
- Independientemente de la ubicación física: uso de un CDE (Common Data Environment according to ISO-19650) en la nube (modelo de trabajo impuesto era post-COVID-19).

¿Están preparadas las empresas contratistas del sector AEC para ejecutar la obra con tecnología BIM? La formulación anterior requiere ejecutar la obra mediante un modelo virtual de la construcción, lo que se denomina Virtual Design Construction (VDC). Si el proyecto básico, y el proyecto de ejecución se desarrollan ya en BIM (Building Information Modeling), ¿por qué la Dirección de la Obra (Facultativa) aún no se apoya en el modelo VDC para dirigir la construcción? El propósito de este estudio radica en dar respuesta a las reflexiones anteriores mediante el marco normativo actual del BIM y su impacto en la Fase de Obra. Aún existen muchas barreras para la implementación BIM en la fase de ejecución de obras para las empresas constructoras (contratistas). BIM no únicamente está orientado a obtener un modelo digital del edificio en 3D. Tenemos diferentes herramientas BIM que nos permiten un mejor control de la construcción a pie de obra, como son:

- Realizar la planificación de obra (BIM 4D). Esta cuarta dimensión del BIM nos permite visualizar en el modelo VDC: la ejecución temporal por fases de obra (movimientos de tierra, cimentación, estructura, cerramientos, cubiertas, etc.).
- Realizar el control de costes (BIM 5D). Esta quinta dimensión del BIM nos permite el control presupuestario de toda la obra por capítulos para el contratista, así como realizar la certificación por capítulos para la dirección facultativa actualizando la información de ejecución en el modelo VDC.

Un objetivo de este trabajo es dar a conocer el marco regulatorio y normativo que pueden utilizar las empresas constructoras durante la fase de obra, persiguiendo el objetivo final de este trabajo, que es proponer un método que permita gestionar la planificación y control presupuestario en la fase de ejecución de un proyecto de construcción, apoyándose en la información del VDC desarrollada en BIM. El método que se propone puede utilizarse tanto por la empresa constructora para la gestión de la construcción (ejecución y costes) como por parte de la dirección facultativa (certificación mensual).

3. VDC. Definiciones y aplicaciones en la actualidad. Revisión de la literatura

La organización y control de la obra es una prioridad para las empresas constructoras. Según Hassan et al. (2018), dentro de la visualización del modelo VDC se pueden pronosticar los riesgos, tanto económicos como constructivos; ayudando a mejorar la organización y control de la obra durante la fase de construcción y mejorando la forma de trabajar en la industria de

la construcción. A continuación, se muestra en la Figura 2 un cuadro resumen con todas las aplicaciones BIM y su relación con cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto; así como los paquetes comerciales disponibles en el mercado. Destacamos las dimensiones BIM 4D y BIM 5D como aplicaciones en la fase de construcción o ejecución.

Figura 2: Softwares BIM que están disponibles para las empresas del sector puestos en relación con las “7 dimensiones del BIM” y las tres Fases recogidas en la UNE-EN-ISO-19650

BIM 3D	BIM 4D	BIM 5D	BIM 6D	BIM 7D
IFC Builder* (CYPE)	OpenBIM (CYPE)		CYPETHERM HE Plus* (CYPE)	
CYPE Architecture* (CYPE)			Estudio de Rehabilitación Energética de Edificios (CYPE)	
Blender BIM*	ITWO [Cost-It + Plan-It + Build-It + PRESTO] (RIB Software)		DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd)	YouBIM (Strategic Maintenance S., Inc)
Edificius (ACCA software)			TerMus BIM (ACCA software)	usBIM.facility* (ACCA software)
Revit (Autodesk)	Navisworks Manage (Autodesk)		Insight (Autodesk)	BIM 360 Ops (Autodesk)
OpenBuildings (Bentley)	Synchro (Bentley)			PLANON (Planon Shared Services BV)
Allplan (Nemetschek)	Solibri (Nemetschek)			
Archicad (Nemetschek)				
Vectorworks (Nemetschek)				
Fase de Diseño	Fase de Construcción			Fase de Mantenimiento
UNE-EN-ISO-19650				

Nota: Se indican con un asterisco los programas que son gratuitos.

Existen numerosos softwares BIM en España (gratuitos y de pago) para gestionar el proceso de construcción apoyándose en el modelo VDC. A continuación, vemos cómo durante el ciclo de vida de un proyecto conviven las denominadas siete dimensiones del BIM: BIM 3 (diseño), BIM 4D y BIM 5D (ejecución, obra), BIM 6D (eficiencia energética), BIM 7D (mantenimiento). La tendencia al uso del modelo VDC en fase de obra es gradual debido a que es muy cómodo para las promotoras ver la evolución de su construcción digitalmente simulada y en tiempo real. Es evidente que muchas empresas contratistas no ven los beneficios de aplicar VDC para el control y gestión de sus proyectos a pie de obra debido a que consideran que los gastos iniciales de implementación y capacitación no van a ser recompensados como ya afirmaron Reginato y Said (2018).

Una adecuada implantación de la metodología BIM durante la fase de obra, requiere un control en tiempo real en el modelo. Dicho control se debe aplicar a través de la nube, usando un software recogido en la (ISO-19650, 2018), nos referimos al uso de un: Common Data Environment (CDE). Utilizando un modelo digital 3D del edificio que contiene toda la información necesaria del proyecto para ser construido (ISO-19650, 2018). Los beneficios del BIM se han reconocido sobradamente en la fase de diseño del proyecto (BIM 3D, Fase de Diseño) acorde a la ISO-19650 (2018). Actualmente ejecutar una obra mediante VDC no es una práctica común durante la fase de ejecución, pero su uso (información para el BIM 4D y BIM 5D) está demostrado que disminuye errores constructivos, así como errores de estimación de costes y de planificación de la obra. Según Kunz y Fischer (2020) el beneficio de aplicar VDC en la fase de ejecución es mejorar el rendimiento del proyecto de construcción. La fase de ejecución de obra con VDC debe incorporar técnicas de gestión para evitar los

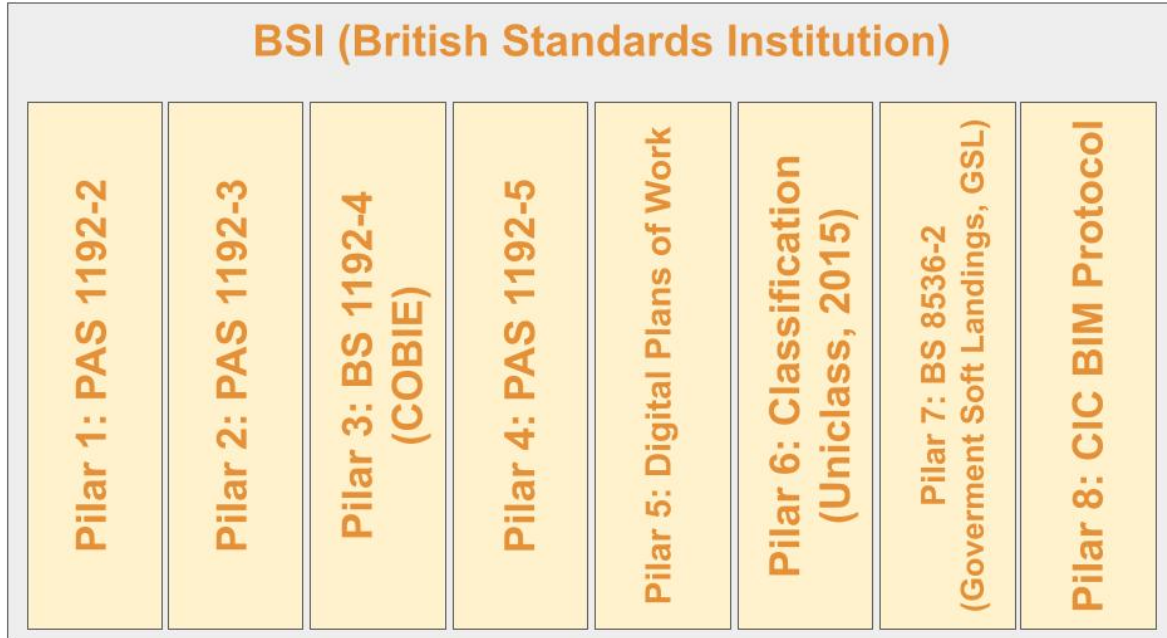
desperdicios y optimizar la construcción, es decir, aplicar Lean Construction. Algunos autores, como es el caso de Pons ya recomendaban en 2014 utilizar VDC junto con la técnica Lean Construction para optimizar aún más los rendimientos de ejecución. El uso combinado de Lean Construction sobre el modelo virtual VDC ayuda a reducir los tiempos y el re-working. Si los equipos de obra usan Lean Construction combinado sobre el modelo virtual VDC y ponen su esfuerzo en la eliminación de tiempos muertos de espera, excesos o excedentes que tienen que ver con los movimientos en obra sobrantes y los stockages de inventario, sobreproducción, etc. los equipos en fase de obra pueden mejorar drásticamente el tiempo de ejecución de la obra como ya analizaron Mandujano et al. (2016).

4. Marco normativo del BIM y su repercusión en la fase de obra

El BIM permite construir y gestionar los proyectos de manera más eficiente (Nassar, 2010), y mejorar el producto obtenido (Sebastian y Berlo, 2010). En España ya es obligatorio el uso de BIM para licitación pública: desde el 17 de diciembre de 2018 en el caso de Proyectos de Edificación, y desde el 26 de julio de 2019 para Proyectos de Infraestructuras. En obra planificamos, dirigimos y controlamos todo el proyecto sobre un modelo virtual que denominamos VDC (Virtual Design Construction). Es por ello que los Jefes de Obra y la Dirección Facultativa en el ejercicio de su profesión deben ampliar sus competencias en BIM. Aprender a integrar los requisitos contractuales del Promotor en el VDC tanto en edificación como para infraestructuras y gestionarlos durante toda la fase de ejecución, trabajando de manera colaborativa con todos los profesionales. Disponer de un modelo VDC en obra llevará a muchísimos beneficios como afirmaron Gangolells y Casals (2012): la reducción los tiempos, la reducción de las desviaciones presupuestarias, la reducción del número de accidentes en obra, la reducción de incoherencias documentales, la disminución de errores de replanteo, etc. Debido principalmente a la virtualización del proyecto en obra. Desde un punto de vista de la mejora competitiva en los procesos constructivos, muchas son las ventajas de incorporar e implantar el uso de la metodología BIM en Fase de Ejecución, como se ha demostrado en el resto de fases del ciclo de vida del proyecto; desde las primeras fases de diseño (ante-proyecto) a la fase de mantenimiento y explotación. Todo este marco normativo nace allá por el 2006 en el seno de la BSI (British Standards Institution) de Reino Unido (UK). Y es recogida

en su totalidad en los llamados “ocho pilares del BIM”. Ocho normas fundamentales de la Metodología BIM.

Figura 3: Se numeran y especifican cada una de las ocho normas, de acceso público y gratuitas. Los llamados “ocho pilares” de la Metodología BIM



La BSI fue creada en 1901, y es el organismo de normalización y estandarización más antiguo del mundo. Se encarga del desarrollo y la innovación en todas las áreas productivas de la industria británica. La BSI es el organismo de normalización y estandarización en el Reino Unido. En el sitio web oficial <https://www.bsigroup.com/en-GB/standards/> se encuentra un apartado dedicado a la venta de las propias normas, y también están disponibles para la descarga de forma totalmente gratuita, las siguientes publicaciones: BS 1192:2007+A2:2016; PAS 1192-2:2013; PAS 1192-3:2014; BS 1192-4:2014; PAS 1192-5:2015 y BS 8536-1:2015. Estas normas se pueden descargar gratuitamente en la siguiente dirección URL: <http://bim-level2.org/standards>. Fue importante, la decisión de producir una serie de publicaciones “ad hoc”, llamadas PAS (Publicly Available Specification). Las PAS de la serie 1192 (partes 2, 3, 4, 5) concebidas como desarrollo y evolución de la BS 1192:2007+A2:2016, fueron publicadas como respuesta a la necesidad del gobierno británico de implementar la adopción de la Metodología BIM en la industria nacional de la construcción. La implementación por parte del Reino Unido de su Protocolo Nacional de BIM, se presentó como una estrategia nacional llena de sinergias y beneficios. Siempre con el objetivo final en el horizonte de la innovación para el sector de la construcción (Murphy et al. 2011). Desde enero de 2016 Reino Unido se encuentra en lo que se ha venido llamando el nivel 2 de madurez del BIM. Del total de cuatro niveles de madurez existentes, el nivel dos es definido como "colaborativo" (Worksharing) y representó el primer logro de Reino Unido. En ese nivel de madurez BIM se aplica sobretudo a la creación de modelos virtuales del edificio (VDC), útiles durante la fase de obra. Y sin los cuales, no se podría llevar el proyecto a obra. Al VDC se le exigen una serie de condicionantes, tales como ser capaz de transmitir la información en tiempo real,

informaciones digitales alojadas en la nube, y consultables a través de internet, que acaban sustituyendo al formato papel en la tradicional documentación de obra.

5. Herramientas de la tecnología BIM aplicada a la gestión del proyecto en fase de obra. Aplicación práctica en entorno “Open BIM”: uso del estándar abierto IFC (Industry Foundation Classes)

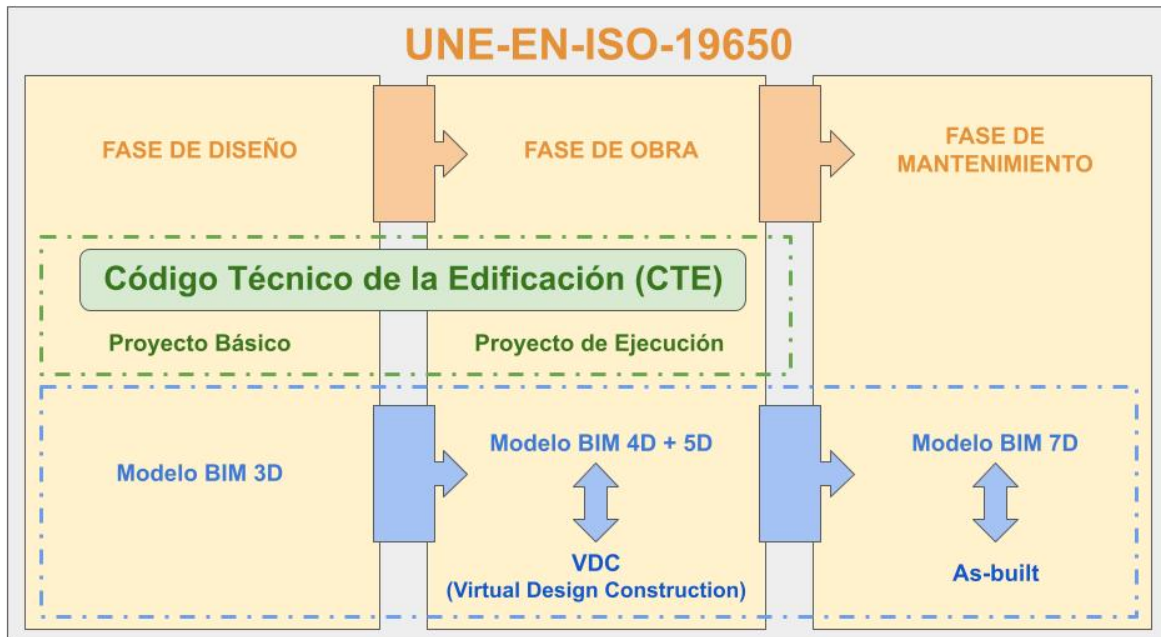
5.1. Incorporación de información en el modelo virtual (VDC, Virtual Design Construction) durante la fase de obra

Los planos en extensión de archivo: .dxf, .dwg, .dgn, .dwf, .dwfx, .pdf, etc pueden incluirse como documentos adjuntos en el Modelo VDC de obra, si el proyecto está alojado en la nube en alguna plataforma CDE de las existentes en el mercado. Caso del BIMserver.center de CYPE Ingenieros, o dado el caso del Autodesk BIM 360, que en adelante, la empresa Autodesk ha acordado en denominar Autodesk Construction Cloud, o el us.BIM.platform de ACCA software, o ProjectWise de la empresa Bentley, o Trimble Connect de la empresa Trimble. Aquí queremos aclarar que el concepto de CDE (Common Data Environment) es un concepto clave dentro de la Metodología BIM, y que está definido perfectamente en la ISO-19650. Además, el concepto de CDE, comparado con el ya existente de los gestores documentales, nos resultará muy familiar, pues tan sólo aporta una ventaja, novedad diferenciadora: el poder trabajar de forma colaborativa a través de internet (a través de la nube) en tiempo real gracias a la infraestructura tecnológica de la que disponemos hoy día. Open BIM es una tecnología empleada por un conjunto de softwares BIM creados los desarrolladores de software, entre ellos: CYPE Ingenieros, quienes específicamente pretenden asistir a los profesionales durante toda la fase de obra. El proceso contado de forma resumida y esquemática sería el siguiente:

- El Proyecto Básico hospedado en el gestor documental en la nube (CDE, Common Data Environment) es trabajado, compartido, publicado y archivado (los cuatro procesos a los que la información del proyecto es sometida siguiendo las directrices de la ISO-19650).
- Más tarde, el Proyecto de Ejecución es consultado en el CDE por el Jefe de Obra, el LEAN Manager, el BIM Manager, el BIM Coordinator en Fase de Obra, etc. Tanto la documentación 2D (planos y memorias de cálculo) como el modelo virtual 3D (VDC).

Figura 4: Del Proyecto Básico (BIM 3D) al Proyecto de Ejecución (VDC: BIM 4D + BIM 5D). Cuadro, que a lo largo de la línea tiempo, pone en relación las tres fases de la ISO-19650, con

los conceptos de Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución del CTE (Código Técnico de la Edificación), y, a su vez, con las siete dimensiones del BIM



También se puede exportar la medición de los elementos introducidos en formato FIEBDC-3 (nos referimos aquí a los archivos de extensión BC3); así como los presupuestos, para ser tratados por programas específicos de mediciones y presupuestos (BIM 5D). Todo el flujo de trabajo representado en la Figura 4, está abarcado por el concepto Open BIM a través de su materialización en el estándar IFC (Industry Foundation Classes). Nos referimos aquí al uso de archivos de extensión .IFC que contienen modelos tridimensionales de las denominadas tres disciplinas: Arquitectura, Estructuras e Instalaciones. Para trabajar en Open BIM, hay que vincular la obra a un proyecto BIM existente en uno o más archivos IFC. Cualquier programa BIM que se precie, debe poder importar y exportar con extensión IFC. Podemos consultar el listado de programas BIM certificado por la BuildingSMART Internacional para el uso de archivos con extensión IFC, en la siguiente dirección URL: <https://www.buildingsmart.org/compliance/certified-software/> En cada plano de planta, en cualquier plano del proyecto de ejecución, por supuesto, también en el propio modelo virtual VDC, el Jefe de Obra, puede añadir en tiempo real la información de lo que está ocurriendo en la obra. Todo lo relativo, tanto acerca de las fases constructivas del proyecto, y la cuarta dimensión del BIM: Planificación de Obra (BIM 4D). Hablamos aquí también de Certificar en Obra desde el propio modelo virtual VDC. Además, en este flujo de trabajo, los responsables

pueden definir de forma colaborativa y conjunta, las fases constructivas del proyecto (Fases de Obra, BIM 4D). Pudiéndose definir las fases constructivas que son de especial importancia.

Figura 5: Fases de la Obra a lo largo de la línea tiempo, puestas en relación a la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (A Guide to the Project Management Body of Knowledge o PMBOK Guide) de la PMI (Project Management Institute), LEAN Construction y BIM.

	PMI/PMBOK	LEAN Construction	Metodología BIM	Innovación
Inicio del Proyecto de Construcción	↑ OK	↔ OK	↑ OK	→ OK ↑
Planificación del Proyecto de Construcción (BIM 4D)	↑ OK	↻ ↑ OK	↻ ↑ OK	→ OK ↑
Ejecución del Proyecto de Construcción	OK	↑ OK	↻ ↑ OK	→ OK ↑
Certificación, Control de Obra y Cierre	OK	↑ OK	↻ ↑ OK	→ OK ↑

5.2. Flujo de trabajo abierto en Open BIM (uso del estándar IFC)

Para entender qué es Open BIM, lo primero que debemos hacer es diferenciar entre archivo nativo y archivo estándar. Ejemplo de esto: si nos remitimos al CAD (Computer Aided Design), sería entender que desde hace años, el archivo de extensión .dxf es y ha sido el archivo estándar para el intercambio de información entre programas CAD. Mientras que el archivo de extensión .dwg, era el archivo nativo de un programa llamado Autocad, conocido por toda la industria. Y si nos trasladamos al momento histórico actual, donde el sector de la construcción se está transformando tecnológicamente con un gran calado y reflejo en la forma como se construyen hoy día nuestros edificios. Es decir, en obra. Aquí podríamos extendernos para intrincar estos conceptos con la construcción pre-fabricada, con la industrialización del sector de la construcción y con otros temas a la orden del día. Pero para no extendernos, volveremos al ejemplo del .dxf y el .dwg en CAD, para entender que hoy día, el archivo de extensión .ifc sería para el BIM lo que el .dxf era para el CAD. El llamado flujo de trabajo abierto u Open BIM, requiere insalvablemente, el uso de archivos standard, denominados .ifc cuyas siglas provienen del acrónimo en inglés IFC: Industry Foundation Classes. Este estándar IFC, es recogido ampliamente en la ISO-16739 y definido en sus distintos tipos y clasificaciones. Cuando hablamos de tipos de IFC, hablamos de distintos Model View

Definition, definidos por los distintos tipos de esquemas presentes en el estándar IFC. Entre los distintos tipos de esquemas podemos encontrar:

- IFC 2×2: Definido por el Coordination Model View Definition, es el antiguo esquema versión 1.0.
- IFC 2×3: Definido por el Coordination View Model View Definition.
- IFC 2×3 Coordination View 2.0: Constituye a una versión mejorada del IFC 2×3 original. Es el esquema más utilizado actualmente.
- IFC Structural Analysis View: Definido por el Coordination Model View Definition, pero orientado a los análisis estructurales, puntos, cargas, materiales, perfiles y secciones.
- IFC Basic Handover: Esquema definido para el intercambio de datos para Facility Management, específicamente para aplicaciones CAFM y CMMS.
- IFCSpace Boundary: Constituye una extensión del IFC 2×3 Coordination View 2.0, el cual es pensado para manejar información en cuanto a espacios para posteriores análisis energéticos.

Tipos de IFC4:

- IFC 2×4 View Reference: MVD pensando para ser utilizado en los flujos de trabajo basados en modelos de referencia, en donde el intercambio de información es unidireccional. Es decir que los cambios necesarios en cuanto a representación de formas o datos, no se realizan sobre el IFC. Estos deben ser realizados por el autor del modelo.
- IFC 2×4 Design Transfer View: Este esquema establece los parámetros para proporcionar información de un proyecto, para la edificación de elementos interconectados. En donde las aplicaciones puedan insertar, eliminar, mover o modificar elementos y espacios físicos de construcción.

El formato IFC garantiza la trazabilidad de los datos (la información del modelo) evitando así el gran problema de la “obsolescencia de los modelos BIM”, tema a la orden del día. Problema que tendremos siempre que usemos archivos nativos (como es el caso de los archivos rvt de Autodesk Revit, por ejemplo). Dentro de la metodología BIM son conceptos claves pues los siguientes:

- INTEROPERABILIDAD, implica trabajar en Open BIM, es decir, usar archivos .ifc.
- COLABORACIÓN, es decir, el uso de un CDE (Common Data Environment), o de forma más amplia: sistema de gestión documental (DMS, Document Management System).

Podríamos pues hablar de interoperabilidad o de la ISO-16739 en conjunto con la ISO-19650. Y, podríamos también hablar de colaboración o de la ISO-19650 en conjunto con la ISO-9001. Para proceder en obra según esta metodología propuesta, hay que vincular la obra a un modelo VDC alojado en el CDE. Todo se realiza a través de la nube. La obra a la que se vincule deberá contener los archivos de extensión .ifc con toda la información necesaria de cada una de las especialidades que colaboran. Estas especialidades reciben el término de disciplinas y subdisciplinas dentro de la metodología BIM. Ello da lugar a diversos modelos virtuales dentro del mismo proyecto para obras muy complejas y/o muy extensas, nos referimos aquí a los modelos virtuales: arquitectónico, estructural y de instalaciones. Cualquier revisión, comunicación, modificación en obra es notificada en tiempo real a través del VDC alojado en la nube donde tenemos ese software denominado CDE, que actúa a modo de gestor documental, recogiendo el histórico digital de toda la obra. La red e infraestructura de acceso a internet que tenemos hoy día, posibilita que todo esto sea una realidad, incluso a

pie de obra, donde el formato papel tiende a desaparecer en pro de las pantallas digitales táctiles, tablets, etc. Este modelo de trabajo propuesto, permite a todos decidir en tiempo real, el control del proyecto durante la fase de obra es total. Si dicha modificación afecta a cada una de las disciplinas del proyecto, o sólo a algunas de ellas. Necesitamos si o si, pues, que el CDE contenga todos los archivos de extensión .ifc necesarios. Si hablamos del modelo arquitectónico que contiene la distribución de plantas del edificio, denominados niveles dentro de la metodología BIM, este puede ser creado por cualquier software o plataforma de modelado BIM 3D de las muchas que existen en el mercado.

Figura 6: Software BIM Authoring y Software para Coordination & Review, problemática de archivos nativos frente al uso de Open BIM en archivos IFC (ISO-16739, 2005,0213,2018) y el concepto de Interoperabilidad (ISO-19650, 2018)

	Revit	Archicad	Allplan	Vector works	Edificius	Edilus	Tekla	Rhino +Visual ARQ	Navis works Manage	Solibri	Open Buildings (AECOSim)
Revit	RVT, RTE, RFA	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN, RVT, RFA
Archicad	IFC, DXF, DWG, DGN	PLA, PLN, BPN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Allplan	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	NDW	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Vector works	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	VWX	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Edificius	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	EDF	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Edilus	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	EDL	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Tekla	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	TSC	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC, DXF, DWG, DGN	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Rhino +Visual ARQ	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	3DM	IFC, DXF, DWG, DGN, 3DM	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Navis works Manage	No procede	No procede	No procede	No procede	No procede	No procede	No procede	No procede	NWF NWD	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Solibri	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC, DXF, DWG, DGN
Open Buildings (AECOSim)	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC, DXF, DWG	IFC	IFC, DGN

Incluso existen programas gratuitos, que puntualizamos son Open BIM, como por ejemplo, Blender BIM, o el IFC Builder de CYPE, o el novedoso CYPE Architecture, lanzado al mercado por CYPE Ingenieros en junio 2020. Por supuesto también la opción de las conocidas plataformas de pago como son: Edificius, Allplan, Archicad, Revit, OpenBuildings de Bentley

(anteriormente denominado AecoSIM), etc. Con dicha vinculación, se importará la estructura de plantas (niveles de proyecto) para generar un plano de planta virtual donde poder certificar directamente en obra, por cada una de los capítulos de obra. En cada plano de planta el profesional podrá revisar, replanteos de los elementos además de comunicar órdenes a las subcontratas. Los planos 2D generados desde el modelo VDC pueden ser incorporados al CDE junto con el modelo VDC que nos permite ver cualquier vista 3D del proyecto, ya sea vista exterior o vista interior, incluso recorrerlo por dentro en tiempo real desde una tablet estando a pie de obra. De esta manera, todos durante la fase de obra tendrán una representación 3D de todos los elementos de cada uno de los capítulos de obra, y los archivos: dxf, dwg, dgn, dwf, dwfx, pdf, etc. de los planos de proyecto. Un nuevo método, una nueva forma de hacer, un nuevo know-how en obra con el que se consolida la implantación del BIM en fase de ejecución.

5.3. Salida de datos: mediante el uso del estándar BC3

Y sobre la exportación al formato FIEBDC-3 (archivo BC3): en este flujo de trabajo se permite la exportación de la medición de todos los elementos del modelo VDC al formato estándar FIEBDC-3. Este formato de archivo es el estándar de intercambio de información entre programas de mediciones y presupuestos. Que usando el modelo BIM del Proyectista, venimos definiéndolos como software BIM 5D. Queremos aclarar aquí que nos referiremos al modelo virtual BIM cuando sea este el modelo del proyecto básico. Y, nos referiremos al modelo virtual VDC cuando sea este el modelo del proyecto de ejecución. Es decir, en fase de proyecto, usaremos la terminología modelo BIM; y, en fase de obra, usaremos la terminología modelo VDC. Ya que el modelo virtual del proyecto del proyecto básico es definido en mayor medida, aportándosele toda la información necesaria para poder construir el proyecto. Si queremos verlo de forma transversal dentro de la ISO-19650, hablaríamos entonces de modelo BIM para la fase de diseño y modelo VDC para la fase de obra. Modelo as-built para la fase de mantenimiento. Comentar que esto son apreciaciones y criterio seguido por los autores, ya que en la actualidad en España, se abusa del término BIM, no distinguiéndose en la mayoría de los casos que la metodología BIM es un concepto más amplio y completo que el concepto del modelo virtual BIM.

6. Conclusiones

En base a la revisión realizada de la literatura científica, afirmamos que la tecnología VDC se considera positiva e importante a la vez para el sector. El papel del modelo virtual VDC durante la fase de obra, y el uso del mismo, irá creciendo en los próximos años en nuestro país. En términos de implicaciones, lo vemos más como una discusión amplia sobre la implementación de nuevas herramientas tecnológicas que afectan a los procesos de trabajo. Y cómo esto se percibe por las empresas del sector. Las consecuencias de una mayor implantación del uso de modelos virtuales VDC en fase de obra es un tema que cada vez toma más peso. Es vital saber en todo momento qué información del modelo VDC se está compartiendo en tiempo real a través de la nube, y qué accesos a determinada información son aprobados en tiempo real dentro y fuera de la empresa constructora, ya sea de una forma directa o indirecta. Finalmente, el uso de modelos virtuales VDC en el sector de la construcción de nuestro país se encuentra todavía en una etapa inicial y es necesario que el gobierno y en general, el conjunto de asociaciones y colegios profesionales apoyen y sean conocedores de todo esto, para que se alcance el nivel de madurez e implantación que en otros países existe desde hace años.

7. Referencias

Anderson, S. (2009). Risk Identification and Assesment. PMI Virtual Library.

- Ayinla, K.O. & Adamu, Z. (2018). Bridging the digital divide gap in BIM technology adoption, *Engineering Construction and Architectural Management*, 25(10), 1398-1416.
- BIM España, el desarrollo de la estrategia nacional, [consultado 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-espana-el-desarrollo-de-la-estrategia-nacional/>
- Chan, A.P.C.; Darko, A.; Olanipekun, A.O. & Ameyaw, E.E. (2018). Critical barriers to green building technologies adoption in developing countries: The case of Ghana. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1067-1079.
- Chan, D.W., Olawumi, T.O., & Ho, A.M. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *Journal of Building Engineering*, 25, 100764. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100764>
- Comisión Interministerial, 2021 <https://cbim.mitma.es/> 2021
- Dzambazova T., Krygiel E., and Demchak G. (2009), *Introducing Revit architecture 2010 " BIM for beginners"*, 1st Edition. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Gangoells, M. Casals, M. (2012), *An ontology-based approach for on-site integrated environmental and health and safety*. *Ingeniería de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile*, Vol. 27: No. 3, pp. 113-114.
- Hassan, H.; Taib, N.; Rahman, Z.A. (2018) *Virtual Design and Construction: a new communication in construction industry*. 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING (ICDSP 2018). Páginas: 110-113. DOI: 10.1145/3193025.3193062
- Kunz J. & Fischer M. (2020) *Virtual design and construction*. *Construction Management and Economics*, 38:4, 355-363, DOI: 10.1080/01446193.2020.1714068
- Mandujano, M.G.; Alarcon L.F.; Kunz J.; Mourgues C. (2016) *Identifying waste in virtual design and construction practice from a Lean Thinking perspective: A meta-analysis of the literature*. *Revista de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile*. Volumen 15(3). Páginas 107-118. DOI: 10.4067/S0718-915X2016000300011
- Miettinen, R. & Paavola, S. (2014). *Beyond the BIM utopia: approaches to the development and implementation of building information modeling*, *Automation in Construction*. 43: 84–91, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>
- Murphy, G.B.; Kummert, M.; Anderson, B.; Counsell, J. (2011) *A comparison of the UK Standard Assessment Procedure and detailed simulation of solar energy systems for dwellings*. *J. Build. Perform. Simul.* 2011, 4, 75–90.
- Nassar K. (2010), *The Effect of Building Information Modeling on the Accuracy of Estimates*. The sixth annual AUC research conference. Cairo: The American University, Available at: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPRT155002010.pdf> (Accessed: February 10, 2014).
- Oesterreich T.D. & Teuteberg F. (2016). *Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry*, *Computers in Industry*. 83: 121–139, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Pons Achell, J.F. (2014) *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción. <http://www.juanfelipepons.com/wp-content/uploads/2017/02/Introduccion-al-Lean-Construction.pdf> (Accessed 6 marzo 2021)
- Reginato, J.; Said, H. (2018) *The Impact of BIM Design-Related Changes on the Performance of VDC Tasks of Electrical Contractors in the United States*. *CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2018: CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY*. Páginas: 232-242.
- Russell, D.; Cho, Y.K.; Cylwik, E. (2014) *Learning Opportunities and Career Implications of Experience with BIM/VDC*. *PRACTICE PERIODICAL ON STRUCTURAL DESIGN AND CONSTRUCTION*. Volumen: 19. Número: 1. Páginas: 111-121.

- Sebastian R. & Berlo L. v. (2010), Tool for benchmarking BIM performance of design, engineering and construction firms in the netherlands. *Architectural Engineering and Design Management*, Vol. 6: No. 4, pp. 254-263.
- Succar B. & Kassem M., (2015). Macro-BIM adoption: conceptual structures, *Automation in Construction*. 57: 64–79, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>
- Tekla Corporation. 2013, Basic concepts [online], [16 enero 2013]. Available from Internet: <http://www.tekla.com>
- Tohidi, H. (2011). The Role of Risk Management in IT systems of organizations. *Procedia - Computer Science Journal*, pp. 881-887.
- Ullah, K., Lill, I., & Witt, E. (2019). An overview of BIM adoption in the construction industry: Benefits and barriers. In *10th Nordic Conference on Construction Economics and Organization*, 2, 297–303. doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052
- Villena, F.; García-Segura, T.; Ballesteros-Pérez, P.; Pellicer, E. 2019. 23rd International Congress on Project Management and Engineering Málaga, 10th – 12th July. Influence of BIM in Construction Companies Innovation.
- Villena, F.; García-Segura, T.; Pellicer, E. Drivers of Innovation using BIM in Architecture, Engineering and Construction Firms. *The ASCE Construction Research Congress (CRC)*, 08-10 Mar 2020 Arizona State University, Tempe, Arizona, EE.UU. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784482889.023>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

