



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

## **Interoperabilidad en el entorno BIM:**

Mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación a partir de la implementación del concepto OpenBIM

Germán Augusto Muñoz García

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín  
Facultad de arquitectura  
Área curricular de construcción y hábitat  
Medellín – Colombia  
2020



# **Interoperabilidad en el entorno BIM:**

Mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación a partir de la implementación del concepto OpenBIM

Germán Augusto Muñoz García

Tesis presentada como requisito para optar por el título de Magíster en  
Construcción

Director:

PhD Edgar Alonso Meneses Bedoya

Línea de Investigación:

Tecnología de la construcción

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

Facultad de arquitectura

Área curricular de construcción y hábitat

Medellín – Colombia

2020



*Dedicatoria:*

*A mis padres, hermanos y a mi esposa hermosa, por su apoyo incondicional, paciencia y compañía en este lindo camino de la vida.*



## **Agradecimientos**

Un proyecto de esta importancia, difícilmente puede lograrse sin la colaboración de personas que con entusiasmo y energía, aportan lo que está a su alcance, incluso más.

Agradezco principalmente a mi familia y esposa por su apoyo incondicional, ellos, que a pesar de las adversidades siempre están presentes.

A mi director de tesis Edgar Alonso Meneses, quien con su constante asesoría me hizo ver la luz al final del camino. Su aporte fue principal para obtener los resultados que se presentan en esta investigación.

Al profesor Benjamín Montoya, por su apoyo inicial, su desinteresada ayuda y el entusiasmo por participar en esta investigación compartiendo sus altos conocimientos en un tema que le apasiona profundamente.

A la empresa Doblamos S.A, especialmente al gerente del departamento de ingeniería Hernán Posada, por abrirme las puertas de su organización y recibirme de manera tan cordial en cada visita con la que buscaba obtener información para el desarrollo del caso de estudio.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que de una u otra forma participaron y aportaron sus conocimientos para hacer posible este proyecto.



## RESUMEN

La complejidad de diseñar una edificación contemporánea y los conocimientos específicos que se requieren para su desarrollo y ejecución hacen necesario la integración de diferentes especialidades que laboren bajo un mismo objetivo, lo cual establece un trabajo en conjunto y colaborativo, donde es indispensable una buena comunicación e interoperabilidad entre los profesionales implicados, con el fin de obtener los mejores resultados.

Sin embargo, la falta de interoperabilidad, y las dificultades en la comunicación han sido reconocidas como una de las principales fuentes de errores en los diseños e ineficiencia en los procesos constructivos, al impedir que los diversos actores involucrados logren intercambiar información de manera rápida y precisa (Gámez, Severino y Márquez, 2014); hecho que causa numerosos problemas en la fase de diseño, con grandes repercusiones durante fases posteriores, la construcción y el mantenimiento.

Bajo ese contexto, la adopción de la metodología BIM (*Building Information Modeling*) y los procesos de colaboración han sido identificados como la solución a las problemáticas de comunicación y gestión de la información de un proyecto de edificación, ya que permiten obtener mayor productividad y calidad en los flujos de trabajo, reduciendo los costos y los tiempos de inactividad. Sin embargo, la adopción generalizada de la metodología BIM puede verse afectada debido a los problemas asociados con la insatisfactoria interoperabilidad entre las herramientas tecnológicas usadas por los diferentes actores del proyecto, lo que impediría un adecuado flujo de información durante el ciclo de vida de la edificación.

Ante lo mencionado, esta investigación reconoce que la implementación del concepto OpenBIM que promueve el uso de formatos abiertos, es un aporte a la solución de los problemas de interoperabilidad tecnológica dentro del entorno BIM. Aunque, también reconoce que la adopción de otras metodologías colaborativas como IPD (*Integrated Project Delivery*) incluso Scrum, junto con BIM pueden ayudar a solucionar la falta de interoperabilidad desde los aspectos humanos, ya que las dificultades de la comunicación no solo conciernen a la transferencia de información entre herramientas.

Según lo dicho, esta investigación busca contribuir a la adopción de la metodología BIM por parte del sector de la construcción a partir del mejoramiento en los procesos de colaboración e interoperabilidad durante el flujo de trabajo en la etapa de diseño

implementando protocolos de comunicación basados en el concepto OpenBIM, y de esta manera mejorar la eficiencia y productividad en el desarrollo del proyecto arquitectónico.

A partir de encuestas y del análisis de la empresa caso de estudio: Doblamos S.A, se evidencian dificultades en la forma en que las empresas o profesionales que hacen uso de la metodología BIM en sus prácticas laborales actuales comparten la información contenida en los modelos BIM con las demás compañías o disciplinas con quienes colaboran, lo cual genera mayores esfuerzos organizacionales, y costos adicionales; costos y esfuerzos que podrían ser evitados si se comparten los modelos de información bajo un formato abierto como el IFC (*Industry Foundation Classes*), el cual se presenta como la mejor alternativa de estándar abierto para facilitar el intercambio de información entre las plataformas BIM usadas en la industria de la construcción. El caso de estudio constata la efectividad de IFC, y se argumenta que es el formato bajo el cual los diferentes actores del sector que hacen uso de herramientas BIM podrían ingresar a un entorno de trabajo abierto bajo el cual se haga un óptimo uso de BIM.

Finalmente se concluye que una metodología como IPD, que puede ser ceñida a una condición de contrato, junto con BIM dentro de un marco abierto (OpenBIM), sería el escenario ideal para mejorar la interoperabilidad en la industria de la construcción. Por un lado, IPD mejoraría las relaciones humanas y la comunicación personal al poder reunir a todos los actores que intervienen en un proyecto. BIM abierto (OpenBIM) por su parte, a través de sus diferentes herramientas ayudaría a mejorar el entendimiento del proyecto con el cliente y los demás actores que intervienen en dicho proyecto, así como también a reducir las tareas redundantes y de esta manera mejorar la eficiencia y productividad.

**Palabras claves:** *Building Information Modeling* (BIM), OPENBIM; Diseño, Interoperabilidad y Comunicación.

## **ABSTRACT**

Complexity of contemporary building design and the specific knowledge required for its development makes necessary to integrate different specialties that work under the same objective, which establishes collaborative work, where communication skills and interoperability between professionals involved is essential, in order to obtain the best results.

Lack of interoperability, and difficulties in communication have been recognized as one of the main sources of errors in designs and inefficiency in construction processes, by preventing the various actors involved from being able to exchange information quickly and accurately, causing numerous problems in the design phase, with great repercussions during later phases, construction and maintenance.

In this context BIM (Building Information Modeling) methodology and collaboration processes have been identified as the solution to problems of communication and information management of a building project, since they allow greater productivity and quality in workflows, reducing costs and downtime. However, widespread adoption of the methodology BIM may be affected due to problems associated with unsatisfactory interoperability between technological tools used by different professional disciplines working on the project, by preventing an adequate flow of information during the building life cycle.

This research recognizes that implementation of OpenBIM concepts that promotes open formats use, is a contribution to solving technological interoperability problems within the BIM environment. Although, it also recognizes that adoption of other collaborative methodologies such as IPD (Integrated Project Delivery) including Scrum, together with BIM can help solve the lack of interoperability based on human aspects, since communication difficulties do not only concern information transfer between tools.

This research seeks to contribute to BIM methodology adoption by the construction sector, helping collaboration and interoperability processes during the design workflow stage by implementing communication protocols based on OpenBIM concepts, and in this way improve the architectural project efficiency and productivity.

According surveys and a company case study analysis (Doblamos SA), difficulties are evident in the way in which companies or professionals that use BIM methodology share information contained in BIM models with other companies or disciplines with whom they collaborate, which generates greater organizational

efforts, and additional costs; costs and efforts that could be avoided if information models are shared under an open format such as IFC (Industry Foundation Classes), presented in this research as the best open standard alternative to facilitate information exchange between BIM platforms in the construction industry. The case study confirms effectiveness of IFC, and it is argued that it is the format under which the different actors in the sector that make use of BIM tools could enter an open work environment under which optimal use of BIM is made

Finally, it is concluded that a methodology such as IPD, which can be tied to a contract condition, together with BIM within an open framework (OpenBIM), would be the ideal scenario to improve interoperability in the construction industry. On the one hand, IPD would improve human relations and personal communication by being able to bring together all the actors involved in a project. Open BIM through its different tools would help to improve project, client, and all others actors understanding, as well as to reduce redundant tasks and thus improve efficiency and productivity.

**Keywords:** Building Information Modeling (BIM), OPENBIM; Desing, Interoperability and Communication.

## **Interoperability in BIM:**

environment: Improvement of design and communication from the the OpenBIM  
concept implementation

# Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
I. Planteamiento del problema .....	27
II. Justificación.....	33
III. Preguntas de investigación .....	38
IV. Objetivos.....	38
V. Metodología de Investigación.....	39
VI. Hipótesis .....	41
<b>CAPÍTULO 1: LA COMUNICACIÓN E INTEROPERABILIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>42</b>
1.1 La comunicación en el proceso de diseño del proyecto de edificación .....	43
1.2 Los medios actuales de comunicación en el desarrollo de una edificación.....	46
1.3 El impacto de los avances tecnológicos informáticos como medio de comunicación de la información en el proceso de diseño. ....	54
1.4 La interoperabilidad en el proceso comunicativo durante el desarrollo de una edificación. ....	63
1.4.1 Ámbitos de la interoperabilidad en el proceso de diseño y construcción .....	64
1.4.2 Niveles de interoperabilidad en la gestión de la información digital. ....	71
1.4.3 Aspectos humanos de la interoperabilidad y su impacto en la comunicación y gestión del proyecto.....	76
1.4.4 Aspectos técnicos de la interoperabilidad y retos a resolver .....	82
<b>CAPÍTULO 2: GESTIÓN INFORMÁTICA DE LA INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>87</b>
2.1 Building Information Modeling – BIM como respuesta a problemas asociados con la gestión de la información.....	88
2.1.1 Definición y concepto.....	88
2.1.2 Evolución y estado actual de la metodología BIM .....	90
2.1.2.1 La evolución de la metodología BIM en Colombia. ....	94
2.1.2.2 El estado de BIM a nivel local.....	99
2.2 BIM como entorno de trabajo colaborativo en el flujo de trabajo en el sector de la construcción .....	102
2.2.1 El flujo de trabajo en un entorno BIM colaborativo .....	102
2.2.2 Principales disciplinas que intervienen en el diseño y planificación de un diseño arquitectónico desarrollado en BIM.....	105
2.2.3 Herramientas de modelado y simulación para la gestión de la información constructiva.....	107
2.3 La gestión automatizada de la información en el entorno BIM.....	113
2.3.1 El uso de modelos BIM como medio de comunicación .....	114
2.3.2 Transferencia e intercambio de información a partir de modelos virtuales .....	114
2.3.3 Beneficios y oportunidades del BIM para el mejoramiento la comunicación y la interoperabilidad.....	117
2.4 Aspectos humanos en BIM y su impacto en la comunicación basada en modelos de información.....	122

2.5 Scrum, una metodología ágil integrada a BIM como aporte a la mejora de la comunicación de un proyecto de construcción .....	127
2.6 IPD integrado a BIM para aumentar la colaboración en la industria de la construcción .....	131
<b>CAPÍTULO 3: LA INTEROPERABILIDAD EN EL ENTORNO BIM.....</b>	<b>134</b>
3.1 La necesidad de interoperar en BIM.....	135
3.2 Las barreras de la interoperabilidad en el entorno BIM.....	137
3.3 Problemas de interoperabilidad entre disciplinas en el entorno BIM .....	141
3.3.1 La interoperabilidad para el cálculo estructural .....	142
3.3.2 La interoperabilidad para la gestión de costos .....	143
3.3.3 La interoperabilidad para la programación de obra .....	148
3.3.4 La interoperabilidad para la arquitectura de detalle y solución de sistemas complementarios.....	151
3.4 Los costos asumidos por la falta de interoperabilidad en el campo de la construcción .....	153
3.5 La interoperabilidad requerida entre las herramientas BIM.....	157
<b>CAPÍTULO 4: OPENBIM.....</b>	<b>160</b>
4.1 El uso de formatos abiertos para mejorar la interoperabilidad .....	161
4.2 Definición y concepto de OpenBIM.....	164
4.2.1 La alianza internacional para la interoperabilidad.....	165
4.2.2 BuildingSMART International .....	166
4.3 El formato abierto de intercambio de datos en el sector de la construcción IFC- <i>Industry Foundation Classes</i> .....	167
4.3.1 Dificultades en el proceso de transferencia de información haciendo uso de IFC.....	169
4.3.2 Retos para el mejoramiento de transferencia de información a partir de IFC .....	177
4.4 Otros estándares de intercambio para la gestión de la información y colaboración en un flujo de trabajo BIM .....	179
4.5 Iniciativa del sector publico.....	184
4.6 Barreras para la adopción del OpenBIM.....	187
<b>CAPÍTULO 5: LA INTEROPERABILIDAD EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS.....</b>	<b>191</b>
5.1 El flujo de trabajo entre el diseñador arquitectónico y el diseñador estructural ....	192
5.1.1 Problemas de la comunicación e intercambio de información .....	195
5.1.2 Similitud y diferencias del uso de tecnologías .....	197
5.2 La automatización en el sector del diseño y construcción de estructuras metálicas .....	200
5.3 Sobre costos y reprocesos debido a bajos niveles de interoperabilidad y mala comunicación entre diseño arquitectónico y cálculo estructural.....	203
5.4 Retos para el mejoramiento de los niveles e interoperabilidad entre ambas disciplinas. ....	206
5.5 Caso de estudio: Empresa Doblamos S.A.....	209
5.5.1 Metodología.....	210
5.5.2 Descripción de la empresa Doblamos.....	212
5.5.3 La automatización en los procesos de diseño y fabricación .....	226
5.5.4 El estado de la implementación de la metodología BIM .....	228

5.5.5 La interoperabilidad en los procesos internos y externos .....	232
5.5.6 Proyecto ejemplificante .....	241
5.5.7 Propuesta para el uso de OpenBIM .....	252
5.5.7.1 Uso del formato IFC.....	253
5.5.7.2 Transformación del proceso empresaria interna y externa.....	275
5.5.7.3 Consolidación de la metodología BIM como opción de los mejoramientos de los procesos colaborativos. ....	281
5.5.8 Conclusiones sobre el caso de estudio .....	282
<b>Conclusiones.....</b>	<b>285</b>
<b>Discusiones .....</b>	<b>293</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>296</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>305</b>
Anexo 1: Encuestas .....	305
Anexo 2: Entrevista a expertos.....	328

## Lista de imágenes

Imagen 1: El costo de una inadecuada interoperabilidad en la etapa del diseño de un proyecto de edificación (En millones de dólares) .....	28
Imagen 2: Metodología de investigación .....	41
Imagen 3: Conjunto de organizaciones que integran un proyecto .....	44
Imagen 4: Representación islas de trabajo .....	49
Imagen 5: El PLGI utilizado convencionalmente para desarrollar proyectos de construcción durante su ciclo de vida .....	50
Imagen 6: Red de comunicación entre los actores de un proyecto de construcción.....	52
Imagen 7: Las TIC en la construcción.....	57
Imagen 8: Uso de tecnologías de realidad virtual.....	59
Imagen 9: Resolución de la información en las diferentes etapas del diseño arquitectónico .....	65
Imagen 10: La comunicación en el proceso de diseño tradicional.....	66
Imagen 11: Proceso tradicional de trabajo para presentación de una propuesta arquitectónica .....	68
Imagen 12: Detalle de iluminación en cielo .....	70
Imagen 13: Comunicación tradicional vs la comunicación bajo la metodología + certeza, AIA.....	74
Imagen 14: Clases de capital humano .....	80
Imagen 15: Representación visual del concepto BIM.....	89
Imagen 16: Museo de Guggenheim, Frank Gehry .....	92
Imagen 17: La evolución de la metodología BIM en Colombia.....	98
Imagen 18: EL trabajo colaborativo en BIM .....	104
Imagen 19: Grupos de organizaciones participantes en el proceso de diseño .....	106
Imagen 20: Herramientas BIM y aplicaciones conectables .....	110
Imagen 21: Clasificación de herramientas BIM .....	111
Imagen 22: Ciclo de vida de un proyecto BIM.....	115
Imagen 23:Modelo integrado .....	118
Imagen 24: Identificación de conflictos en un modelo 3D.....	121
Imagen 25: conformación de equipos BIM .....	124
Imagen 26: Scrum vs métodos tradicionales.....	129
<i>Imagen 27: La interoperabilidad en la industria de la construcción .....</i>	<i>133</i>
Imagen 28: Concepto de interoperabilidad en la etapa de diseño.....	135
Imagen 29: factores técnicos para lograr el potencial de BIM en los procesos de colaboración. ....	138
Imagen 30: Intercambio de información entre disciplinas .....	142
Imagen 31: Estimación de costos de manera tradicional vs cuantificación de costos basado en modelos BIM .....	144
Imagen 32: Presupuesto a partir del modelo BIM - AIA.....	147
Imagen 33: Ejemplo de cantidades no extraída del modelo-AIA .....	147
Imagen 34: Programación del vaciado de losa.....	150

Imagen 35: Producción de detalles arquitectónicos en Revit .....	152
Imagen 36: El costo de una inadecuada interoperabilidad en el sector de la construcción, durante el ciclo de vida del proyecto ( En millones de dólares .....	155
Imagen 37: Los costos asumidos en por una inadecuada interoperabilidad en las diferentes fases del proyecto .....	155
Imagen 38: Método de intercambio común de datos.....	158
Imagen 39: niveles de interoperabilidad.....	158
Imagen 40: Evolución de las versiones IFC .....	169
Imagen 41: Traducción incorrecta de los componentes geométricos .....	170
Imagen 42: a) Modelado detallado de paneles arquitectónicos en Tekla b) Integración de modelo estructural y arquitectónico.....	173
Imagen 43: Concepto de BIM Collaboration Format (BCF) .....	181
Imagen 44: Una hoja de trabajo tipo dentro de una hoja de cálculo COBie.....	183
Imagen 45: Descripción del modelo conceptual.....	184
Imagen 46: Momento de ingreso del estructural .....	193
Imagen 47: El uso de las herramientas tecnológicas por parte del arquitecto e ingeniero estructural.....	198
Imagen 48: Los sobrecostos por la falta de interoperabilidad entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural.....	204
Imagen 49: La expansión de Doblamos S.A. en Antioquia.....	213
Imagen 50: Adopción tecnológica por parte de la empresa Doblamos.....	216
Imagen 51: El impacto de la adopción tecnológica en la empresa Doblamos .....	217
Imagen 52: Unidades de negocio Doblamos S.A.....	219
Imagen 53: Producción de la línea de servicios .....	220
Imagen 54: Producción de paneles de fachadas.....	221
.Imagen 55: Estructura línea de fachadas.....	222
Imagen 56: Estructura funcional .....	224
Imagen 57: Taller de ingeniera Doblamos.....	224
Imagen 58: Estructura organizacional.....	225
Imagen 59: Fachadas metálicas Doblamos .....	227
Imagen 60: Procesos BIM al interior de Doblamos .....	229
Imagen 61: Los beneficios del modelo BIM en Doblamos .....	230
Imagen 62: Nivel de detalle del modelo estructural.....	231
Imagen 63: Proceso de coordinación de diseños.....	234
Imagen 64: Mapa de procesos Doblamos.....	237
Imagen 65: Ciclo de vida del desarrollo de la estructura metálica .....	240
Imagen 66: Ciudadela Universitaria de Occidente .....	243
Imagen 67: Estructuras metálicas Doblamos .....	244
Imagen 68: Mapa de procesos, Doblamos - EDU .....	245
Imagen 69: Modelo estructural CUO.....	247
Imagen 70: Relación costo total de obra vs costo de estructuras metálicas.....	248
Imagen 71: Relación de costos del objeto del contrato de Doblamos .....	249
Imagen 72: Conjunto de bodegas del ejercicio practico .....	254
Imagen 73: Planta primer piso .....	255

Imagen 74: Construcción del proyecto la Teka .....	256
Imagen 75: Mapa de procesos metodológico.....	257
Imagen 76: Modelo Arquitectónico - Revit.....	258
<i>Imagen 77: Validación del archivo IFC arquitectónico.....</i>	<i>260</i>
Imagen 78: Comprobación de vistas del modelo.....	261
Imagen 79: Importación de archivo IFC en Tekla Structure .....	261
Imagen 80: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure.....	262
Imagen 81: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure.....	263
Imagen 82: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure.....	264
Imagen 83: Diseño Estructural basado en el modelo IFC importado- Tekla Structure.....	265
Imagen 84: Diseño Estructural basado en el modelo IFC importado-Tekla Structure.....	265
Imagen 85: Comprobación del modelo estructural en Revit .....	266
Imagen 86: Visualización 3D modelo la Teka .....	267
Imagen 87: Planos arquitectónicos producidos en Revit– La Teka .....	268
Imagen 88: Identificación de los elementos del modelo desde Revit.....	269
Imagen 89: Modelo arquitectónico Revit Autodesk .....	271
Imagen 90: Verificación de elementos modelados por niveles .....	272
Imagen 91: Roles y responsabilidades de la calidad del modelo BIM .....	273
Imagen 92: Validación de inserción de modelos .....	274
Imagen 93: Propuesta para uso de BCF .....	276
<i>Imagen 94: Propuesta de comunicación.....</i>	<i>277</i>
Imagen 95: Uso de BCF como propuesta de comunicación.....	279
Imagen 96: ¿Profesión? Selección única.....	307
Imagen 97: De las siguientes actividades ¿Cuáles definen su ocupación laboral? Selección múltiple.....	307
Imagen 98: ¿Experiencia laboral? Selección única.....	308
Imagen 99: ¿Ha recibido formación en BIM? Selección única .....	309
Imagen 100: En caso de que sí. ¿Qué tipo de formación ha recibido? Selección múltiple .....	309
Imagen 101: Identifique el nivel de manejo de las herramientas BIM que usa actualmente Selección única.....	310
Imagen 102: Identifique su nivel de conocimiento en BIM como metodología de trabajo Selección única.....	311
Imagen 103: ¿Tiempo de experiencia como usuario BIM? Selección única.....	311
Imagen 104: ¿Cuál ha sido el principal motivo por el que usted o la compañía en la que labora actualmente ha implementado la metodología BIM? Selección múltiple.....	312
Imagen 105: El desarrollo de los modelos BIM, lo hace(n) con base en. Selección múltiple .....	313
Imagen 106: ¿En cuál de las siguientes actividades usted o la compañía utiliza BIM? Selección múltiple.....	313
Imagen 107: Del siguiente listado de software ¿Cual(es) usa usted o la compañía para el desarrollo de los diseños pertinentes a su área? Selección múltiple.....	314
Imagen 108: Uso de herramientas de modelado BIM por disciplinas .....	315

Imagen 109: ¿La elección del software BIM para el desarrollo de los modelos pertinentes a su área de desempeño laboral, es determinado a partir de? Selección múltiple .....	316
Imagen 110: ¿Qué herramientas usa(n) para la verificación y análisis de modelos BIM? Selección múltiple.....	317
Imagen 111: Desde su perspectiva, ¿Cuáles son los mayores retos a los que se enfrenta una disciplina en particular en la adopción de la metodología BIM? Selección múltiple .	318
Imagen 112: ¿En qué etapa del ciclo de vida del proyecto interviene usted o la compañía en la que labora actualmente? Selección múltiple .....	319
Imagen 113: Intervención de las disciplinas en el ciclo de vida del proyecto.....	320
Imagen 114: ¿Labora actualmente o ha laborado en una compañía que cuenta con dependencias que cubran dos o más de las disciplinas que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción? Selección única.....	321
Imagen 115: En caso de que la compañía en la que labora o ha laborado Si cubra dos o más disciplinas, ¿De qué manera intercambian información entre ellas? Selección única .....	321
Imagen 116: En caso de compartir modelos de información BIM al interior de la compañía ¿Qué nivel de interoperabilidad se requieren en los procesos de trabajo? Selección única .....	322
Imagen 117: ¿Considera usted suficiente compartir información planimétrica con las demás disciplinas en formato DWG? Selección única .....	323
Imagen 118: Según su percepción, ¿cuál es el nivel de estandarización de los procesos asociados a la implementación BIM en la empresa que labora o ha laborado? Selección única.....	323
Imagen 119: ¿Participan o ha participado en procesos colaborativos asociados a la metodología BIM con otras disciplinas? Selección única .....	324
Imagen 120: En caso de que si ¿se establecen protocolos de comunicación que den lineamientos al intercambio de información? Selección única.....	324
Imagen 121: ¿Con cuáles disciplinas intercambia información? Selección múltiple .....	325
Imagen 122: ¿Qué método utiliza para el intercambio de información en un entorno de trabajo colaborativo BIM? Selección múltiple.....	325
Imagen 123: ¿Ha utilizado el formato IFC como estándar de comunicación entre las aplicaciones con las demás disciplinas con las que colabora? Selección única.....	327
Imagen 124: En caso de usar IFC ¿define usted los requisitos de intercambio de información del modelo BIM con la disciplina con quien colabora? Selección única .....	327
Imagen 125: ¿Qué factores cree que podrían dificultar los procesos de intercambio de información basado en modelos BIM entre las diferentes disciplinas? Selección múltiple .....	328

## Lista de tablas

Tabla 1: Dominios de fortalezas.....	123
Tabla 2: El costo de una inadecuada interoperabilidad en el sector de la construcción, durante el ciclo de vida del proyecto ( En millones de dólares) .....	154
Tabla 3: Representación de las entidades e los diferentes softwares utilizados.....	175
Tabla 4: Relación de las dificultades en el proceso de interoperabilidad a través de IFC176	
Tabla 5: Formatos de archivo de intercambio BIM-BEP .....	180
Tabla 6: Barreras en la adopción de OpenBIM .....	189
Tabla 7: Los beneficios de OpenBIM para mejorar la interoperabilidad entre el arquitecto y el estructural .....	252
Tabla 8: Requisitos de intercambio de información del modelo arquitectónico.....	259
Tabla 9: Gestión de problemas con BCF .....	278

## Lista de acrónimos

<b>Abreviatura/ Acrónimo</b>	<b>Término</b>
AEC	Architecture engineering and construction
AIA	Arquitectos e Ingenieros Asociados
BCF	BIM Collaboration Format
AIA	American Institute of Architects.
BEP	BIM Execution plan
BIM	Building Information Modeling.
BSI	BuidingSmart International
CAD	Computer Aided Design.
CAMACOL	Cámara Colombiana de la Construcción
CNC	control numérico computarizado
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
CUO	Ciudadela Universitaria de Occidente
EDU	Empresa de desarrollo Urbano
FIDE	Formato de Intercambio de Datos en la Edificación
MEP	Mecánica, electricidad y plomería
IFC	Industry Foundation Classes
IPD	Integrated Project Delivery.
IDM	Información Delivery Manual
TIC	Tecnología de la Información y Comunicación

# INTRODUCCIÓN

La presente investigación resulta del impulso por ahondar en el uso de las nuevas herramientas tecnológicas aplicadas al campo de la construcción para entender desde la teoría y la práctica la manera en que estas plataformas han impactado sobre la comunicación y la gestión de la información en la etapa de diseño y construcción de una edificación, así como identificar los retos y las oportunidades que obtienen las distintas disciplinas que participan en el proceso creativo. Investigando diversas fuentes: tesis, artículos, libros, entrevistas y demás, ha sido posible concebir la problemática general existente alrededor de esta tesis y también cómo, a través de lo aprendido, es posible aportar al medio en un tema que hoy es una necesidad: la interoperabilidad en el entorno BIM.

La interoperabilidad, desde el significado dado por Tchouanguem, Karray, Foguem, Magniont y Abanda (2019), se comprende como la capacidad de comunicación que debe existir entre dos o más sistemas, personas y/u organizaciones para intercambiar información al interior de un entorno de trabajo común, sin embargo, en el entorno BIM resulta ser un concepto más amplio, más allá de los aspectos tecnológicos, pues de las acciones humanas y de sus comportamientos se derivan los principales retos para lograr un armonioso flujo de trabajo.

Esta interoperabilidad está relacionada con la comunicación interdisciplinar que, en la industria de la construcción, es un proceso natural que surge de la colaboración requerida para llevar a cabo el desarrollo de una edificación. Particularmente en el proceso de diseño, la comunicación tiende a complejizarse debido al aumento dramático de actores/organizaciones que requieren integrarse en el proceso creativo debido a la dificultad de desarrollar un proyecto contemporáneo, donde los nuevos avances tecnológicos aplicados al diseño tienen protagonismo, ya que permiten explorar formas y diferentes alternativas volumétricas. Por tanto, estos nuevos retos de diseño, hacen que los métodos tradicionales de trabajo sean cada vez más limitados, pues el uso de medios de comunicación, basados en transferencia de planos en papel, planos en 2D y demás información bidimensional no permiten el entendimiento integral del proyecto, y, en consecuencia, se cae en

mal interpretación de los planos y se generan errores que desencadenan altos costos para el propietario y el proyecto de edificación mismo.

En respuesta a estas problemáticas nuevas metodologías de trabajo y herramientas avanzadas han surgido para hacer frente a las dificultades. Metodologías de trabajo como *Building Information Modeling* (BIM) que junto a otras como IPD (*Integrated Project Delivered*) o Scrum, son necesarias en los entornos de trabajo para lograr la plena colaboración, además de la eficiencia en la comunicación, que, para muchos expertos, significa el éxito de un proyecto de edificación.

BIM, y el uso de software paramétricos que hacen parte de la metodología, han impactado sobre los procesos comunicativos, desde el hecho de poder centralizar la información y tener una fuente común de datos para todos los actores en el proceso de diseño, hasta la posibilidad de generar un modelo 3D coherente, coordinado e integrado que eleva los esquemas habituales de comunicación. Lo que, en efecto, mejora las relaciones no solo con el cliente, sino también con las demás disciplinas participantes en los procesos de creación. Sin embargo, como todo cambio, el uso de BIM trae consigo nuevos retos a la industria. Ejemplo de esto es lograr la integración de todos los actores que intervienen en la fase de diseño, que hacen uso de diversas herramientas BIM y de distintas casas fabricantes de software. En este punto se establecen los principales retos, pues para muchos usuarios, las divergencias entre las herramientas usadas han significado una problemática importante para introducirse a los flujos de trabajo que hagan uso de BIM, debido a la pérdida de información (geométrica y de datos) en los procesos de exportación e importación del modelo BIM que se tramiten entre una disciplina y la otra. Lo cual ha dificultado la adopción generalizada de esta metodología en el país, particularmente.

Ante esas dificultades de interoperabilidad, muchas personas o compañías se resguardan en el uso de un solo software de una misma casa fabricante. Sin embargo, esto no ha significado una solución al problema, pues una sola aplicación no logra abarcar todas las necesidades de los profesionales involucrados, lo que genera mayores esfuerzos al recurrir a procesos no propios de la metodología BIM. Además, esto promueve el monopolio comercial lo que desvirtúa la transparencia ante cualquier proceso de adopción de las herramientas BIM, en especial para las entidades públicas.

Bajo ese marco se desarrolla la presente investigación, puntualizando la interoperabilidad en BIM en el flujo de trabajo entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural dada la importancia y responsabilidad que ambas tienen sobre el resultado de una edificación. Un proceso en el que se evalúa particularmente la

transferencia de información geométrica entre las herramientas que usan y que es de interés en una etapa inicial del proyecto arquitectónico.

De acuerdo a lo mencionado, esta tesis tiene como objetivo, contribuir a la adopción de la metodología BIM por parte del sector de la construcción a partir del mejoramiento en los procesos de colaboración e interoperabilidad durante el flujo de trabajo en la etapa diseño, implementando para esto protocolos de comunicación basados en el concepto OpenBIM, y de esta manera mejorar la eficiencia y productividad en el desarrollo del proyecto arquitectónico.

Además establece como hipótesis que la interoperabilidad y la colaboración estandarizada mediante protocolos de comunicación basados en el concepto OpenBIM, aplicados durante el flujo de trabajo en la etapa de diseño favorece la adopción generalizada de la metodología BIM por parte del sector de la construcción, al aumentar la eficiencia en los procesos y la productividad en el desarrollo del proyecto arquitectónico, así como la disminución de los sobrecostos, reprocesos, y esfuerzos duplicados entre las organizaciones.

Bajo ese marco se desarrolla la presente investigación, puntualizando la interoperabilidad en BIM en el flujo de trabajo entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural dada la importancia y responsabilidad que ambas tienen sobre el resultado de una edificación. Un proceso en el que se evalúa particularmente la transferencia de información geométrica entre las herramientas que usan lo cual es de interés en una etapa inicial del proyecto arquitectónico.

A partir de lo expuesto, la investigación se desarrolla temáticamente en 5 capítulos, los cuales indagan en la caracterización de la problemática desde una perspectiva amplia hasta ser puntualizada a través del análisis de un caso particular. Con ello se busca generar aportes que ayuden a subsanar las dificultades de la interoperabilidad y comunicación tanto para el diseño arquitectónico y estructural como para los demás diseños que requieran ser realizados bajo un entorno BIM abierto.



# PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

## I. Planteamiento del problema

La falta de interoperabilidad, comprendida como la capacidad de dos o más sistemas, organizaciones y/o individuos para trabajar en conjunto intercambiando información de uno al otro (Tchouanguem et al., 2019), es reconocida como una de las principales fuentes de errores en los diseños e ineficiencia en los procesos constructivos (Blanco y Muñoz, 2018).

Según Gámez et al. (2014), las dificultades de la interoperabilidad impiden que los diversos actores involucrados en el desarrollo de un mismo proyecto puedan intercambiar información de manera rápida y precisa; este hecho causa numerosos problemas en la fase de diseño, que desenlazan negativamente durante fases posteriores, como la construcción y el mantenimiento, donde cada variación o inconsistencia trasciende en más tiempo necesario para la entrega, y así, más gastos económicos para el proyecto, lo que se traduce a pérdidas para los propietarios o los inversionistas.

Bajo el contexto anterior, un estudio desarrollado por la *National Institute for Standards and Technology* (NIST), estimo que los costos asociados a las barreras de interoperabilidad fueron de 15.8 mil millones de dólares por año para el sector del mantenimiento en los Estados Unidos (Carbonell, Martin-Dorta, Saorín, Cantero, 2015). En efecto, la falta de gestión en etapas tempranas del proyecto, las dificultades de transferencia de información, los problemas asociados a la comunicación, la falta de estándares y de una supervisión durante la etapa del diseño, fueron los problemas que desencadenaron en los sobrecostos finales (Mourshed, 2006), los cuales, representaron el 4,25% sobre el valor del sector en ese país (Blanco y Muñoz, 2018).

En cada fase del ciclo de vida, los costos son afrontados por las diferentes partes involucradas, aunque con diversas variaciones de acuerdo al grado de responsabilidad frente al desarrollo del proyecto, tal como lo muestra la imagen 1. Esta gráfica representa la segregación de los costos asumidos por cada uno de los

actores involucrados en la fase de planeación y diseño, según el estudio del NIST (Mourshed, 2006), el que además refleja que los arquitectos e ingenieros son quienes asumen los mayores gastos económicos de la inadecuada interoperabilidad (\$1.007,20 mil millones de dólares), y aunque solo representa el 6,37% sobre el valor total, la alta incidencia que tienen estas disciplinas frente al desarrollo del proyecto en esta etapa, es la causal para que los costos se trasladen como una “bola de nieve” a las fases posteriores, donde finalmente el proyecto y el cliente son los mayores afectados.

*Imagen 1: El costo de una inadecuada interoperabilidad en la etapa del diseño de un proyecto de edificación (En millones de dólares)*



*Fuente: elaboración propia de acuerdo a los datos de Mourshed (2006), según el estudio del NIST*

Estos costos adicionales al proyecto, por la pérdida de información en los procesos, son el resultado de las dificultades de la comunicación entre los actores involucrados, aunque especialmente, entre las empresas y los profesionales que participan en las etapas del diseño, ya que deben enfrentar inconvenientes relacionados a falta de interoperabilidad entre las herramientas tecnológicas que usan, situación que conlleva a costos adicionales por una serie de tareas resultantes de los inadecuados procesos, entre los que destacan:

- Los costos relacionados a la reconstrucción de la información recibida,
- datos y esfuerzos replicados entre las organizaciones, que finalmente desenlazan en un tiempo adicional sobre las actividades realizadas y por ende a un aplazamiento de la entrega final del proyecto,
- los costos producidos por los errores y la mal interpretación de la información,

- así como el nivel de compromiso que es adquirido al incidir sobre ciertas tareas que no son de responsabilidades propias.

Teniendo en cuenta este contexto, **el uso de BIM** y los procesos de colaboración han sido identificados como **la solución al problema de comunicación** y de **la gestión de la información de un proyecto de edificación**. Sin embargo, la adopción y éxito de BIM pueden verse afectado debido a los problemas asociados con la insatisfactoria interoperabilidad entre las herramientas tecnológicas usadas por los actores que participan en el desarrollo del proyecto, lo que puede impedir un adecuado flujo de información durante el ciclo de vida de la edificación (Stapleton et al., 2014).

Ante las dificultades de interoperabilidad, algunas compañías han adoptado como alternativa el uso de una sola marca de software como solución a los problemas para intercambiar información entre sus áreas disciplinares y las empresas con las que trabajan colaborativamente, sin embargo, esto no ha significado una solución, por el contrario, ha conllevado a otra serie de dificultades que ponen en riesgo la adopción generalizada de la metodología BIM por parte del sector de la construcción.

La hegemonía de las casas productoras de software como solución a los problemas de interoperabilidad es considerado por Diaz (2020) como una mala práctica; al final una sola aplicación no puede proporcionar el conjunto completo de funcionalidades definidas, ni las necesidades de todos los profesionales inmersos en el desarrollo del proyecto. Del mismo modo, esto impide a las partes interesadas poder usar una gran cantidad de paquetes de software para llevar a cabo las funciones necesarias para la entrega del proyecto y la incapacidad de intercambiar información con precisión y sin problemas, genera más ineficiencias costosas (Stapleton et al., 2014).

De acuerdo a lo mencionado, y con el propósito de facilitar la gestión de la información en los entornos de trabajo inmersos en la metodología BIM, así como la transferencia de los modelos paramétricos, han surgido en los últimos años un gran número de estándares y metodologías bajo la perspectiva de un BIM abierto (Open BIM), entendiendo esto como un enfoque universal que hace posible la colaboración, e interdisciplinariedad deslocalizada de distintos equipos profesionales involucrados en un proyecto de construcción, utilizando diferentes aplicaciones informáticas (Gea, 2015).

Bajo este entendido, se promueve el uso de “formatos universales” que permiten generalizar la información, compartirla, analizarla y establecer informes de datos sin

estar sujetos a una marca comercial, además, las diferentes herramientas operadas por distintas especialidades permite el desarrollo de un proyecto de manera integral, determinando tareas y objetivos independientemente del software empleado por las diferentes disciplinas, resolviendo al final una única solución y dando como resultado un “banco de datos” que almacena toda la información referente al proyecto de construcción con el objetivo de hacer más flexible la colaboración.

Uno de estos formatos es el *Industry foundation Classes* (IFC por sus siglas en inglés), desarrollado por *BuildingSMART*, el cual se presenta actualmente como la mejor alternativa de estándar abierto para el intercambio de información en el campo de la construcción, y que según Nieto, Marín, Rico y Moyano (2012), ha estandarizado la colaboración entre las disciplinas, transmitiendo la información gráfica y alfanumérica del modelo de información bajo la incorporación de protocolos básicos de comunicación.

Con el uso de este tipo de formatos, es posible lograr un apropiado flujo de trabajo, a través de un archivo vinculado como referencia externa, contribuyendo al desarrollo de diferentes diseños de las distintas especialidades. Por ejemplo, el ingeniero eléctrico, el hidrosanitario, incluso el profesional en telecomunicaciones, logran solucionar sus problemas de redes y ubicar sus equipos de manera precisa sin dar espacio a la malinterpretación de información, disminuyendo notablemente los errores que en ocasiones se dan durante los procesos de trabajo tradicional.

Debido a las diferentes ventajas que ofrece dicho formato, el IFC ha tenido gran acogida en países en los que la metodología BIM ha logrado un alto desarrollo, incluso hace parte de las normativas locales e internacionales como las guías de usuario BIM de *BuidingSmart*, las cuales establecen los lineamientos de interoperabilidad durante las diferentes etapas de la edificación.

No obstante, y pese a lo mencionado, Nieto et al. (2012), señala que la comunicación mediante un formato abierto entre las diferentes plataformas que participan en un proyecto sigue siendo un reto.

La compatibilidad con muchas herramientas no es del todo equilibrada, además se pierde información valiosa al importar un modelo en un software específico diferente al usado para su creación, por lo que algunos se rehúsan a establecer el formato IFC como única extensión de exportación e importación, considerando aún la comunicación mediante archivos en formato nativo. Grilo y Jardim-Goncalves (2010), señalan, además, que el objetivo de una plena interoperabilidad está lejos de ser una realidad para el sector de la construcción.

Sin embargo, los problemas de interoperabilidad no recaen únicamente en el formato, también aluden a una falta de planes y estrategias definidas por parte de las organizaciones en función de los métodos de colaboración y de la adopción tecnológica.

La falta de claridad en el uso de la información y protocolos de comunicación, son las razones por las cuales no es posible hacer uso de todos los beneficios que los softwares pueden otorgar. Al respecto Díaz (2020), menciona que *“en la actualidad las empresas están sometidas a un elevado costo de oportunidades por no aprovechar ni el 20 % de los beneficios que ofrece una determinada herramienta tecnológica, ni sacar provecho de la información que se contiene en los modelos BIM”*, lo que además limita la productividad en el campo de la construcción y el aporte a la generación de edificaciones sustentables en términos de eficiencia energética, estructural, económica y demás, debido a la necesidad de intercambiar información cada vez más especializada no solo en la industria si no en el mundo en general.

De ese modo, si en las compañías no existen unas estrategias claras y unos objetivos definidos no es posible hacer uso de diferentes herramientas y/o equipos que pongan el término de la interoperabilidad en el centro de la cadena de producción (Nieto et al., 2012), lo cual quiere decir que en un proyecto donde no se tengan definidos claramente los protocolos de comunicación y laboren en un entorno de trabajo abierto haciendo uso de diferentes herramientas de casas fabricantes de software como Revit, Tekla, Archicad, Ecosim, y demás, no es posible lograr una comunicación fluida y sin deslices, que conlleva en muchos casos a abordar otras estrategias de gestión de la información de los modelos y comunicación entre grupos de trabajo, que no son propias de una adecuada implementación de la metodología BIM y por consiguiente se aumentan los costos y los esfuerzos entre las organizaciones.

En relación a lo anterior, las pérdidas económicas con las que carga un propietario o inversionista, dejan de lado la oportunidad de cubrir otros gastos que cobijen necesidades del mismo proyecto o quizás lleven a sacrificar algunos ítems por desarrollar en la construcción, debido a los imprevistos relacionados con la problemática; como puede ser en el caso de un proyecto arquitectónico desarrollado bajo recursos públicos, donde las malas prácticas relacionadas al diseño y construcción ponen en juego el dinero del estado. Del mismo modo, las cargas económicas asumidas por parte de la entidad pública impedirían cubrir otras necesidades básicas y prioritarias, como la construcción de nuevas edificaciones, así como en la educación y formación en áreas que aporten a las problemáticas actuales del país.

No obstante, e independientemente de la competencia comercial que hace parte de la realidad actual, es necesario abrir la perspectiva hacia una formación más integral por parte de los profesionales inmersos en el campo de la construcción, donde la calidad de lo que puedan aportar sea lo más importante sobre los programas que se utilicen, tal como lo menciona Ocampo (2015). Lo cual lleva a la cualificación del profesional a partir de una formación que lo conduce a tener la capacidad de gestionar volúmenes grandes de información y de mayor calidad.

Así pues, y en conclusión a esta problemática, las principales limitaciones actuales de la interoperabilidad son las dificultades de la comunicación entre las organizaciones y los profesionales inmersos en el desarrollo de un proyecto de construcción, la falta de procesos estandarizados y el desconocimiento de formatos abiertos que impiden la fluida colaboración entre la gran variedad de partes que se requieren integrar a los entornos de trabajo de una edificación contemporánea. Una situación que, además, obstaculiza la adopción generalizada de la metodología BIM en el país.

Por consiguiente, es necesario considerar que el mayor porcentaje de la eficiencia en la implementación de la metodología BIM, está relacionados con los procesos, las políticas organizacionales y el capital humano (factores, organizaciones y estándares), y no en la tecnología. O como bien lo menciona Gámez et al. (2014): *“BIM es 10% tecnología y 90% sociología”* (p.6). Una afirmación que puede trazar el camino en la indagación del problema y en la búsqueda del mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación bajo la implementación del concepto OpenBIM.

## II. Justificación

El proyecto de investigación aborda diferentes problemáticas asociadas a la comunicación, la gestión de la información en la etapa de diseño y construcción de una edificación y la capacidad requerida entre las diferentes herramientas tecnológicas para generar, administrar y compartir la información. Lo anterior enmarcado en el concepto de interoperabilidad.

### **La complejidad del proceso de diseño y construcción de una edificación.**

La evolución tecnológica y su aplicación en la arquitectura ha fomentado la exploración de nuevas posibilidades formales y expresiones volumétricas que han complejizado el desarrollo de un proyecto de construcción. Sumado a esto, las diversas corrientes sociales, la globalización y la creciente atención a los problemas de sostenibilidad y medio ambiente han contribuido a aumentar la dificultad del proceso de diseño (Moum, 2010).

Por lo anterior, en la actualidad el desarrollo de un proyecto de construcción requiere de la integración de una amplia variedad de partes con conocimientos especializados que contribuyan desde etapas muy tempranas al buen desarrollo y desempeño técnico espacial de aspectos como, el rendimiento energético, bioclimáticos, eficiencia estructural, aprovechamiento de recursos naturales y demás. Esto ha generado una expansión de actores (arquitectos, ingenieros, especialistas técnicos, consultores externos, etc.) y organizaciones en la industria de la construcción, por lo que, de acuerdo con Chiou (1998), un proyecto a gran escala puede involucrar hasta 300 organizaciones diferentes, lo cual hace de la construcción una tarea compleja, que envuelve actividades diversas durante sus diferentes etapas. De hecho, hasta los proyectos de pequeñas proporciones están fuera del alcance de un solo profesional u organización (Steel et al., 2012).

Lo mencionado anteriormente, evidencia que la construcción es una industria “fragmentada”, tal como lo considera Costa, Jardí y Valderrama (2015), que requiere de la acción de diversas disciplinas y organizaciones que actúan bajo el mismo objetivo, donde la necesidad de intercambiar datos entre los involucrados y las distintas aplicaciones, surge básicamente de la misma naturaleza colaborativa para el desarrollo del proyecto .

Para Zhang, Beetz y Weise (2015), la construcción debe entenderse como un entorno de colaboración que requiere de repetidos intercambios de datos e interactivas comunicaciones entre los diferentes actores y sus herramientas, donde la

automatización del procesamiento de la información y la estandarización de los datos son necesario para lograr un flujo de trabajo eficiente. No obstante, a medida que aumenta la complejidad, la elaboración de la información del proyecto y la cantidad de transferencias de datos entre los participantes tiende a expandirse sustancialmente. Como resultado, la integración de la información se convierte en un problema importante para la gestión de proyectos de construcción a gran escala (Chiou, 1998).

De acuerdo a lo anterior, el diseño de un proyecto contemporáneo requiere de estrategias de comunicación y el usos de herramientas tecnológicas que aporten a la producción de una arquitectura que responda de manera rápida y eficaz a los cambios naturales y sociales, así como a la automatización del proceso de diseño, dirigido a responder métodos de comunicación y de gestión de la información que permitan resolver problemas arquitectónicos complejos en menor tiempo y con mayor calidad del producto entregado.

De la misma forma, la complejidad en el desarrollo de la edificación actual requiere de nuevos procesos metodológicos que permitan la integración de todos los actores involucrados en un proyecto de construcción. La evolución de nuevas necesidades y requerimientos cambiantes por parte de los clientes, generan la premura de un cambio en los procesos habituales de gestión y desarrollo, que aporten a la colaboración requerida para generar proyectos integrados, coherentes y sustentables.

### **La gestión de la información en el proceso de desarrollo del proyecto**

La transferencia de la información en la industria de la construcción ha sido tradicionalmente en base a dibujos en dos dimensiones (2D), ya sea en papel o desde aplicaciones CAD, o mediante la transferencia de otros documentos según la necesidad e interés. Esta dinámica requiere por parte del receptor de la información una revisión rigurosa de los archivos planimétricos, como: plantas, secciones, alzados, detalles y demás, bajo un proceso muy “manual” y visual, sobreponiendo los planos de cada disciplina una sobre otra, con el fin de identificar cualquier inconsistencia en la información recibida, y así reportar en cualquiera de los casos al responsable. Sin embargo, inmediato a este proceso, cualquier disciplina avanza de manera individual, dando solución a sus problemas con diferentes métodos y aplicaciones, comprometiendo posiblemente el diseño de diferentes especialistas, lo que hace de este método tradicional de desarrollo y gestión un proceso aislado y

desarticulado, arduo y poco satisfactorio, que además tiende al aumento de costo y plazos en la ejecución del proyecto.

La comunicación basada en múltiples archivos generados en métodos tradicionales solo permite el intercambio de información separada del proyecto, además, un documento o dibujo en 2D está sujeto a las múltiples interpretaciones, que pueden llevar a una toma de decisión equivocada o construcciones inapropiadas, establecer horarios inviables, desperdiciar los recursos y desestimar el costo del proyecto.

A pesar de dichas limitantes, muchas organizaciones del campo de la construcción aún se empeñan en hacer uso de dibujos en papel y transferir la información en 2D, mediante aplicaciones CAD como medio de comunicación con los demás intervinientes en el proyecto, sin embargo, en la construcción contemporánea, la gestión y comunicación basada en los métodos tradicionales se ve cada vez más limitada. Asimismo, la baja adopción de tecnología en el sector de la construcción ha hecho que se rezague en avances y eficiencia respecto a otras industrias, lo que se refleja en la baja productividad en este campo (Prieto y Reyes, 2014).

En ese sentido, los problemas de comunicación y la información fragmentada se consideran como uno de los factores que contribuyen al fracaso de proyectos de construcción, por lo cual los proyectos requieren de un enfoque más integral y colaborativo para la gestión de la información (Stapleton et al., 2014). Surge de esto la necesidad de mejorar la comunicación entre las organizaciones y/o individuos del sector de la construcción para incrementar la productividad y eficiencia del mismo.

Reconociendo esta problemática y otras asociadas al manejo de la información, se desarrolla a principios de los años 2000 la metodología BIM (Migilinskas, Popov, Juocevicius y Ustinovichius, 2013), la cual se presenta como la mejor alternativa para atender las dificultades y las limitaciones que los métodos tradicionales de gestión y comunicación han presentado a lo largo de los años. El propósito de dicha metodología es mejorar la calidad, optimizar el tiempo y los costos asociados al proceso creativo y de desarrollo de la edificación, actuando por medio de plataformas que aumentan la capacidad de comunicación entre las diversas disciplinas intervinientes en el desarrollo de un mismo proyecto; sin embargo, la adopción de esta metodología impone nuevos retos a la industria, no solo en el uso de nuevas herramientas durante las diferentes etapas del proyecto si no como medio de intercambio de información entre las diferentes disciplinas involucrados en un mismo entorno de trabajo, generando una nueva dinámica que representa un cambio importante para el sector.

### **La automatización de la información en la etapa de diseño y la construcción del proyecto de edificación**

De acuerdo a Steel et al. (2012), el uso de modelos de información por parte de todos los involucrados en el desarrollo del proyecto, abre la posibilidad de automatizar una serie de análisis que conllevan a importantes resultados para la optimización y la eficiencia de la edificación, que se refleja en el producto final. La información producida por cualquier software de creación BIM puede ser utilizado por diferentes aplicaciones o para diversos fines como: estudio de factibilidad, simulación térmica, análisis estructurales, análisis de iluminación, estimación de costos y gestión de materiales, incluso para la colaboración con algunos proveedores nacionales e internacionales.

Del mismo modo, la automatización a través del uso de herramientas paramétricas avanzadas ha permitido a la industria de la construcción materializar formas y estructuras arquitectónicas complejas en tiempos relativamente cortos si se comparan con procesos y herramientas tradicionales, una ventaja dada a la flexibilidad y la precisión que las mismas plataformas otorgan, las que al mismo tiempo permiten la producción y prefabricación estandarizada de elementos de construcción masiva, lo cual ha generado una mayor capacidad de respuesta frente a la demanda actual en este campo, especialmente en las edificaciones repetitivas, puesto que acelera la ejecución de una obra a la vez que garantiza el control de la calidad y la reducción de sus costos (Sandoval, 2016).

En efecto, lo anterior puede observarse con mayor claridad en la producción, fabricación y montaje de estructuras metálicas, donde las herramientas de producción industrial y la automatización han permitido atender la demanda de edificaciones en acero, reduciendo la capacidad de respuesta frente al cliente, los recursos asociados a la producción de la información y aportando una mayor precisión en la construcción de proyectos complejos.

De acuerdo a lo anterior, en las estructuras metálicas evidentemente el uso de las tecnologías BIM han permitido ahorros significativos tan solo con el hecho de automatizar los entregables a partir de un modelo 3D. Los rendimientos, según los indicadores mencionado por Díaz (2020), han pasado de 200-300 kg, a 800-900 kg por hora hombre gracias al uso de una herramienta BIM como Tekla Structure, por ejemplo.

En ese sentido Diaz (2020), considera que existe un beneficio en la fase de diseño, que es la optimización de los tiempos de producción y fabricación. Y por ello, el objetivo se centra en poder automatizar la generación de información 2D para poder centralizar las actividades y los esfuerzos del modelo en hacer ingeniería y no planos.

Sin embargo, la información extraída del modelo producido es la lectura de un proyecto ya coordinado, desarrollado y coherente con lo que se va a construir, por tanto, el grado de comunicación desde etapas tempranas con los demás implicados en un proyecto de este tipo juega un papel fundamental para no dar espacio a errores, ya que la falta de precisión en las estructuras metálicas podría significar una alta pérdida de dinero para el fabricante y un aumento en el tiempo de entrega a la obra.

En ese marco, la capacidad de comunicar la información contenida en el modelo estructural desarrollado por el ingeniero en un software como Tekla con el modelo arquitectónico construido virtualmente en Revit, por ejemplo, es fundamental para lograr la eficiencia y el objetivo final que no dé cabida a costos adicionales ni a mala interpretación de la información, aspecto que representa un cambio en las relaciones y procedimientos entre los diseñadores, fabricantes y constructores.

De acuerdo al caso expuesto, lo que ocurre con las estructuras en acero puede suceder con especialidades de otros ámbitos, como por ejemplo el bioclimático, el de iluminación, el paisajista y demás. Por tanto, el uso y la implementación de la metodología BIM debe ser concebido como un entorno de trabajo abierto y transparente (OpenBIM) con el ánimo de fomentar el desarrollo libre y sin tropiezos de las actividades de cada integrante del entorno de trabajo, donde las herramientas tecnológicas usadas sean las más beneficiosas para la elaboración de las tareas determinadas.

### III. Preguntas de investigación

#### Pregunta general

¿La interoperabilidad y la colaboración estandarizada mediante protocolos de comunicación abiertos favorecen la adopción de la metodología BIM?

#### Preguntas específicas

1. ¿Cuál es el beneficio de la interoperabilidad en el entorno BIM?
2. ¿De qué manera las diferentes empresas o profesionales que hacen uso de la metodología BIM en sus prácticas laborales actuales comunican o comparten la información contenida en los modelos BIM con las demás compañías o disciplinas con las que colaboran?
3. ¿Qué dificultades y beneficios se obtienen de un proceso de diseño donde se promueva la interoperabilidad entre dos disciplinas asociadas al proceso de construcción mediante el uso del formato IFC?

### IV. Objetivos

#### Objetivo general

Contribuir a la adopción de la metodología BIM por parte del sector de la construcción a partir del mejoramiento en los procesos de colaboración e interoperabilidad durante el flujo de trabajo en la etapa diseño, implementando para esto protocolos de comunicación basados en el concepto OpenBIM, y de esta manera mejorar la eficiencia y productividad en el desarrollo del proyecto arquitectónico.

#### Objetivos específicos

1. Caracterizar las problemáticas asociadas a la falta de interoperabilidad en los procesos de diseño en un entorno BIM, señalando las dificultades y beneficios que conlleva la adopción de protocolos adecuados para el

mejoramiento de la comunicación entre las diferentes disciplinas inmersas en el proceso.

2. Identificar la forma en que las diferentes empresas o profesionales que hacen uso de la metodología BIM en sus prácticas laborales actuales, comparten y comunican la información contenida en los modelos BIM con las demás compañías o disciplinas con quien colaboran.
3. Generar aportes para el mejoramiento de los procesos de interoperabilidad y comunicación entre las disciplinas y profesionales asociados al diseño arquitectónico y estructural, dentro de un entorno BIM abierto.

## **V. Metodología de Investigación**

Metodológicamente, la investigación se aborda en 2 etapas (ver imagen 2): caracterizar la problemática desde lo teórico y validar lo planteado a partir del caso de estudio.

### **Etapas 1**

La primera etapa consiste en caracterizar la problemática a partir de la construcción teórica asociada a la interoperabilidad en el entorno BIM, identificando las dificultades y los beneficios que se logran de una adecuada comunicación e interoperabilidad entre las diferentes disciplinas inmersas en el proceso de evolución de un mismo proyecto de construcción. Siendo necesario para esto, realizar una revisión rigurosa de fuentes bibliográficas como: artículos, tesis, revistas físicas o virtuales que sirvan como aporte y referencia de la sustentación teórica de la tesis.

Esta etapa, además busca identificar la manera en que los diferentes profesionales involucrados en el desarrollo de un proyecto de construcción intercambian información en un entorno de trabajo BIM. También, determinar el grado de conocimiento y uso que se tiene actualmente de formatos abiertos como estándares de comunicación entre los diferentes profesionales en un entorno de trabajo colaborativo, así como, Identificar los factores que limitan la interoperabilidad en la actualidad a través encuestas y entrevistas de percepción a nivel local que aporten a la caracterización de la problemática planteada en la presente investigación.

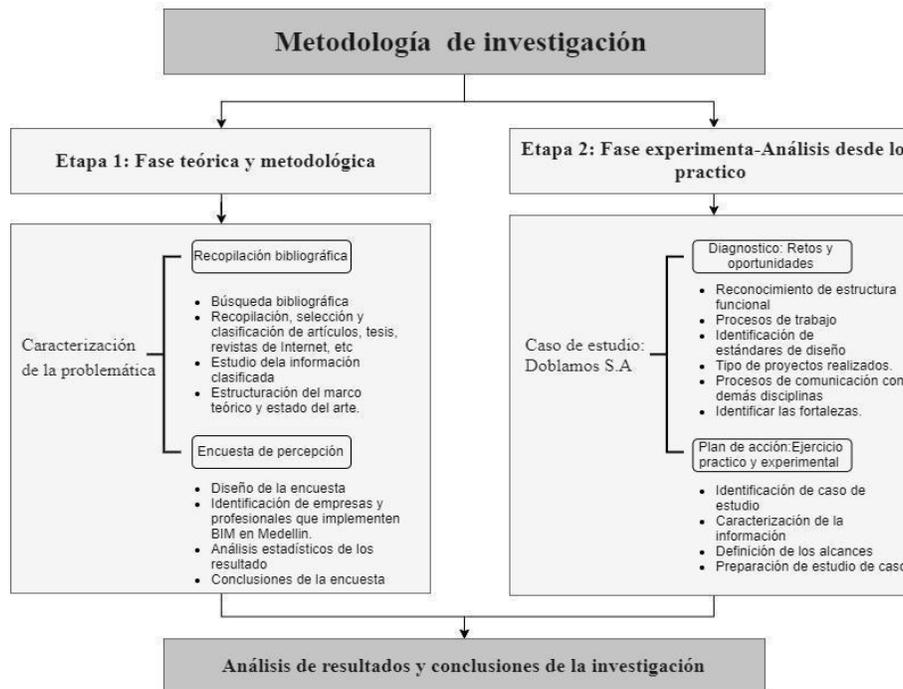
## **Etapa 2**

La segunda fase busca **identificar la forma en que las diferentes empresas o profesionales que hacen uso de la metodología BIM en sus prácticas laborales actuales, comparten y comunican la información contenida en los modelos BIM con las demás compañías o disciplinas con quienes colaboran.** Identificando para esto, la empresa Doblamos S.A. de la ciudad de Medellín. Además de lo anterior, se busca determinar las consecuencias y las oportunidades de la comunicación e interoperabilidad en el campo de la construcción, a partir de la revisión de los flujos de trabajo actuales entre la organización analizada y otras compañías.

Por medio del caso de estudio se busca evaluar a través de un ejercicio práctico la interoperabilidad entre las plataformas BIM, Autodesk Revit y Tekla Structure. Considerando la primera como el software de uso más frecuente a nivel local para el desarrollo de modelos paramétricos de edificaciones y el que tiene mayor penetración comercial actualmente. El segundo software especializado para el desarrollo de estructuras, con el cual se pueden crear modelos 3D precisos y ricos en información que contienen todos los datos estructurales necesarios para la construcción y mantenimiento de la estructura.

Con lo anterior se busca generar aportes para el mejoramiento de los procesos de interoperabilidad y comunicación entre las disciplinas y profesionales asociados al diseño arquitectónico y estructural, dentro de un entorno BIM abierto.

Imagen 2: Metodología de investigación



Fuente: Elaboración Propia

## VI. Hipótesis

Con base a la problemática y la justificación expuesta anteriormente, esta investigación plantea como hipótesis que la interoperabilidad y la colaboración estandarizada mediante protocolos de comunicación basados en el concepto OpenBIM, aplicados durante el flujo de trabajo en la etapa de diseño favorece la adopción generalizada de la metodología BIM por parte del sector de la construcción, al aumentar la eficiencia en los procesos y la productividad en el desarrollo del proyecto arquitectónico, así como la disminución de los sobrecostos, reprocesos, y esfuerzos duplicados entre las organizaciones.

De igual manera esto beneficia al sector público al poder avanzar en procesos de licitación y ejecución de una edificación con contratación comercial transparente de proyectos desarrollados bajo la metodología BIM, promoviendo el uso de aplicaciones informáticas diversas que respondan a las necesidades específicas de las diferentes entidades, empresas y actores involucrados en los procesos de diseño y gestión del proyecto.

# **CAPÍTULO 1: LA COMUNICACIÓN E INTEROPERABILIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Este capítulo introduce las problemáticas relacionadas con los procesos comunicativos y de interoperabilidad en el proceso de diseño del proyecto de edificación; en él se aborda la complejidad de desarrollar una construcción debido a la cantidad de actores que requieren ser involucrados en un entorno común de trabajo y la colaboración que se necesita para lograr los objetivos planteados de manera conjunta.

Además, este capítulo pone de relieve las dificultades que se presentan actualmente en los procesos habituales de comunicación durante el proceso de diseño, pues métodos basados en papel, planos digitales en dos dimensiones (2D) y las masivas fuentes de comunicación como WhatsApp u otras plataformas sociales que son usadas en la gestión de información generan un caos en la comunicación al no ser controladas, por tanto, aquí se hace un llamado a la implementación de estándares y estrategias metodológicas que ayuden a resolver las dificultades de comunicación e interoperabilidad en el campo de la construcción.

## 1.1 La comunicación en el proceso de diseño del proyecto de edificación

El desarrollo de un proyecto de construcción se torna cada vez más complejo debido al aumento dramático en el conocimiento especializado que se requiere para desarrollar una edificación. En la actualidad existen muchos contribuyentes al diseño de un proyecto a partir de una amplia variedad de partes y organizaciones, compañías de arquitectura, ingeniería, estudios técnicos especializados, diseños de interiores, paisajismo, bioclimáticos, empresas de consultorías externas y demás, que requieren trabajar conjuntamente unificando sus esfuerzos para contribuir al éxito del proyecto. Lo anterior, da lugar a procesos de diseños que consisten en un intercambio fluido y continuo de información y de conocimientos (Moum, 2010), donde la buena gestión demanda gran responsabilidad y un alto impacto en fases posteriores, como en la construcción, en el mantenimiento y en la operación de la edificación.

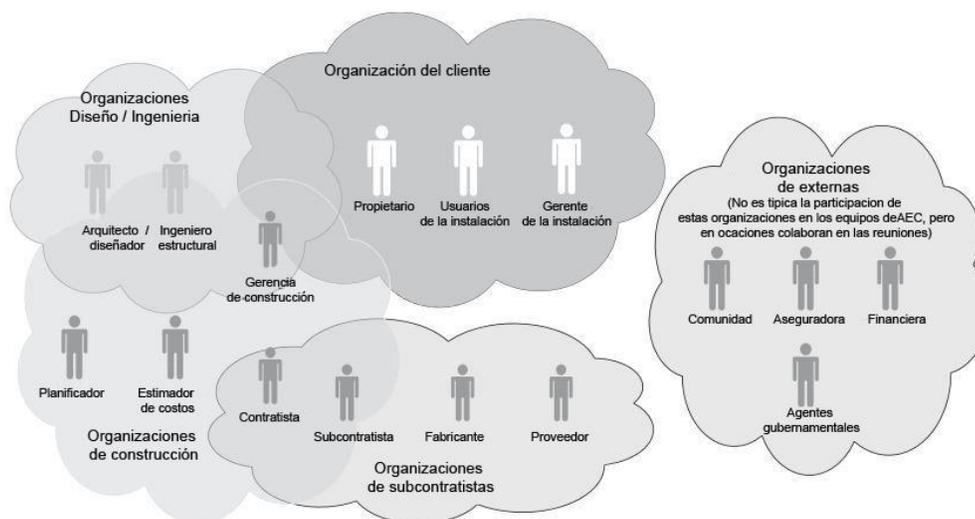
Sumado a lo anterior, las diversas corrientes de la sociedad, la globalización y la creciente atención a los problemas de sostenibilidad y medio ambiental, han llevado a aumentar la complejidad del proceso de diseño (Moum, 2010), ya que se demandan conocimientos en áreas puntuales que contribuyan a análisis en etapas tempranas que garanticen el buen comportamiento técnico espacial de aspectos como, el rendimiento energético, bioclimáticos y confort, eficiencia estructural, aprovechamiento de recursos naturales, etc. Y esto por supuesto, requiere de un manejo adecuado de las herramientas que pongan en términos de interoperabilidad toda la cadena de producción.

Del mismo modo, los temas de sostenibilidad y de eficiencia que envuelven actualmente al campo de la construcción, han generado un “arrastre” hacia atrás de aquellas especialidades o compañías que, tradicionalmente, se integraban en fases posteriores al diseño, es decir, actores u organizaciones de construcción, subcontratación y agentes externos que habitualmente se han visto desvinculados de un proceso de planificación o de creación de un proyecto, requieren en la actualidad integrarse desde etapas tempranas con el fin de aportar sus conocimientos y contribuir en aspectos como la optimización económica, recursos naturales, materiales, planificación del proceso constructivo y demás consideraciones que ayuden a disminuir o prevenir cualquier impacto que pueda producirse en el proyecto en etapas futuras. Por ejemplo, el constructor, quien en un proceso habitual se involucra al proyecto en la fase de construcción e inicia el desarrollo de la edificación bajo una información “definitiva” y unos planos ya

elaborados, se encuentra con problemas y dificultades múltiples ocasionalmente debido a falta de planos detallados, pocas especificaciones y desarrollos constructivos mal elaborados; pues el conocimiento en temas constructivos del arquitecto que realiza la información para la obra no es la suficiente, ni tiene él la experticia en el campo para lograr el rigor del detalle que se requiere. No obstante, dificultades como estas son las que se buscan superar integrando al constructor en la fase de diseño, y que él pueda aportar sus conocimientos desde el inicio, para así disminuir cualquier dificultad que se pueda generar. La integración de este actor, entre muchos otros, sin duda ha llevado a un aumento de disciplinas que deben intervenir en la fase de diseño de una edificación contemporánea.

En el presente, un proyecto a gran escala puede involucrar hasta 300 partes diferentes entre actores individuales y compañías (clientes, gerentes, asambleas del inmueble, aseguradoras, agentes gubernamentales y otros más), lo cual hace precisamente a la construcción una industria fragmentada que requiere de la acción de todas las disciplinas y organizaciones que actúan bajo el mismo objetivo, trabajando estrechamente en un ambiente intenso por un periodo prolongado de tiempo que podrían ser meses o quizás años, donde la necesidad de intercambiar datos entre los diferentes actores y sus distintas aplicaciones, surge básicamente de la misma naturaleza colaborativa para el desarrollo de la edificación (Costa et al., 2015). La imagen 3 ilustra los miembros y las organizaciones más comunes que se integran a un proyecto de edificación.

*Imagen 3: Conjunto de organizaciones que integran un proyecto*



*Fuente: Tomada y traducida de Eastman et al. (2011)*

Un ejemplo de lo mencionado anteriormente, es el caso expuesto por Eastman et al. (2011), quien a través de los datos compilados por una empresa constructora ubicada en Quebec-Canadá, determina los siguientes números de actores y de componentes que resultan en procesos de edificación.

- Número de empresas participantes: 420 (incluidos todos los proveedores y subcontratistas)
- Número de individuos participantes: 850
- Número de documentos generados: 50
- Número de páginas del total de los documentos: 56,000
- Número de cajas para guardar documentos del proyecto: 25
- Número de gabinetes de 4 cajones para guardar la información: 6
- Número de árboles de 0.50 mt de diámetro, 20 años, 15.24 mts de altura, utilizados para generar este volumen de papel: 6
- Número equivalente de megabytes de datos electrónicos para contener este volumen de papel (escaneado): 3.000 MB

Lo anterior solo ejemplifica la cantidad de información que resulta de un proceso de desarrollo, los esfuerzos que se generan para administrar la misma, dado la cantidad de personas y documentos que resultan. No obstante, la eficiencia y la eficacia del proceso de diseño y construcción dependen en gran medida del rigor con que se maneja la calidad de la información comunicada (Hoezen, Reymen y Dewulf, 2006). Por tanto, Senaratne y Ruwanpura (2016), menciona que un proceso de comunicación efectivo en cada fase del ciclo de vida entre las partes es esencial para el éxito de un proyecto.

A medida que aumenta la complejidad, la elaboración de la información del proyecto y la cantidad de transferencias de datos entre los participantes tiende a expandirse sustancialmente. Como resultado, la comunicación de la información se convierte en un problema importante para la gestión de proyectos de construcción a gran escala (Chiou, 1998).

De acuerdo a lo anterior, las dificultades que resultan de la falta de comunicación de información entre las partes han sido atribuida como una de las principales razones del fracaso de una edificación (Rezgui, Beach y Rana, 2013). Las causas más comunes y notables de ese problema es la falta de integración efectiva del equipo del proyecto, la cual, también radica en la falta de capacidad de las partes

interesadas para empatizar con los demás actores involucrados (Hoezen et al., 2006).

Al respecto Rezgui et al., (2013), señala otros factores que dificultan la comunicación, como son la falta de sistemas de información compatibles, estándares, protocolos de comunicación, las diferentes perspectivas y requisitos de los clientes y los diseñadores, que por consiguiente han obstaculizado la adopción generalizada de una tecnología adecuada que permita entre otras cosas:

- Dar la capacidad de garantizar que todos los miembros del equipo trabajen con los mismos entornos de datos.
- Permitir que las diferentes propuestas de diseño puedan evaluarse con relativa facilidad.
- Garantizar que los datos generados de un diseño se puedan alimentar directamente a entornos de fabricación eliminando procesos intermediarios e innecesarios.
- Permitir que exista una base adecuada para la gestión de una edificación posterior a la construcción, en la fase de mantenimiento.

Por tanto, la deficiencia de la comunicación en el campo de la construcción provoca un menor rendimiento y una mayor rotación del personal. Por lo cual, la comunicación efectiva tiene la posibilidad de romper las barreras al reunir a los miembros del equipo de construcción, propagando así una mejor colaboración y un trabajo integrado dentro del equipo de construcción (Senaratne y Ruwanpura, 2016).

## **1.2 Los medios actuales de comunicación en el desarrollo de una edificación**

### **El papel como medio de comunicación**

Los métodos actuales de comunicación en la industria AEC (arquitectura, ingeniería y construcción) siguen siendo fragmentados y dependen en gran medida de la transferencia de información plasmada en papel. Las interacciones entre los diversos actores se dan mediante múltiples archivos que requieren de una revisión rigurosa de enormes documentos, dibujos técnicos y contratos legales para las órdenes de compras, permisos, solicitudes de cotizaciones, honorarios y demás.

Sin embargo, los errores y las omisiones de los documentos a menudo causan adiciones en los costos del proyecto por procesos que no pueden ser anticipados, la lectura de planos bidimensionales (2D) en ocasiones no lo permite, y se generan eventuales pérdidas de tiempo y aumento de los esfuerzos de las partes que integran un entorno común de trabajo (Eastman et al., 2011).

La comunicación entre los estudios de arquitectura, ingeniería, MEP (mecánica, eléctrica y plomería) y demás, con la obra continúa siendo con base en información impresa, debido a la baja adopción de herramientas tecnológicas por parte de la misma construcción. En el caso de un maestro de obra que requiera ejecutar una actividad como la de mampostería, revoque, pega de pisos, instalaciones de tuberías de desagüe o cualquier otra labor, le es necesario disponer de un papel para leer la información y trasladarla al sitio. Sin embargo, en estos procesos se pueden dar múltiples errores, y está supeditado a las deficiencias de los dibujos planimétricos, la falta de cotas, los problemas de expresión en los planos y demás errores que llevan a un mal procedimiento, e incluso a la capacidad interpretativa de esta información por parte del obrero en este caso.

La comunicación a través de un papel entre el gerente/cliente y el arquitecto tampoco permite una lectura clara ni el entendimiento que quisiera transmitir el diseñador, aun teniendo una buena imagen renderizada (realista) de la edificación, en tanto, las decisiones tomadas a través de ese papel probablemente no sean las más adecuadas. La misma situación puede suceder entre el arquitecto y el diseñador de interiores. La comprensión de una edificación a través de un papel está sujeto a la interpretación que cada uno le dé al espacio, por tanto, el resultado probablemente no va a ser el que cada uno espera.

Así mismo sucede en la coordinación técnica de los diseños entre el arquitecto y los ingenieros responsables. La revisión a través de un documento en papel dificulta la comprensión total del proyecto, se requiere de un mayor tiempo para abarcar la generalidad de los diseños ya que se necesita de una superposición de los planos en papel para identificar las interferencias entre un diseño y el otro. Sin embargo, este proceso también está sujeto a muchas deficiencias humanas que no permiten percibir con claridad la dificultad del problema y la anticipación del mismo.

Por otro lado, Eastman et al. (2011), considera que la dependencia del papel durante la fase del diseño contribuye a una mayor inversión de tiempo y gastos económicos adicionales por la necesidad de imprimir planos y documentos al momento de realizar revisiones del diseño propuesto, estimaciones de costos, análisis de uso de energía, detalles estructurales, constructivos etc. En relación con la ejemplificación de una construcción, también existe un daño ambiental. En el caso

del ejemplo mencionado por Eastman et al. (2011) (ver página 44), el volumen de papel utilizado durante las fases de un proyecto particular corresponde a la tala de 6 árboles de 0.50 mts de diámetro, 20 años, 15.24 mts de altura. Lo cual provoca un impacto importante al ecosistema que contribuyen a las problemáticas de sostenibilidad que atraviesa el planeta.

Para efecto de las dificultades anteriores, el uso de modelos 3D puede subsanar muchas de esas deficiencias, además el uso de plataformas en la nube puede ayudar o beneficiar la comunicación entre la obra y los estudios de arquitectura e ingeniería. Un maestro de obra, al que se ejemplificaba anteriormente ya no dependería del papel, si no que podría hacer usos de aparatos móviles tipo tablets, smartphones u otros elementos tecnológicos que le sean otorgados para visualizar el modelo 3D de lo que deba construir y aumentar así la comprensión. Esto por consiguiente disminuye también el uso del papel, y aportaría significativamente a los problemas ambientales.

De esa misma forma se podrían llevar a cabos los diligenciamientos de licencias constructivas; la radicación y evaluación normativa por parte de las curadurías urbanas o entidades de planeación municipal deben cambiar, pues el uso constante de planos físicos para analizar cualquier requerimiento particular lleva a generar altos volúmenes de papel, lo que no es consecuente con los planes de sostenibilidad que promueve hoy la industria. En ese sentido, los modelos 3D nutridos de información relevante al proyecto pueden ayudar, además de minimizar los tiempos de comprensión y agilizar los de respuesta, también a los problemas del medio ambiente, y es aquí donde el uso de formatos abiertos y OpenBIM de lo cual se precisará en el capítulo 4 toma mayor relevancia e importancia, pues en este caso particular, el ente público como política de país debe promover la transparencia y no condicionar el desarrollo de un modelo de información a una herramienta particular para lograr leer y evaluar la información recibida.

### **La comunicación bidimensional (2D) asistida por ordenador**

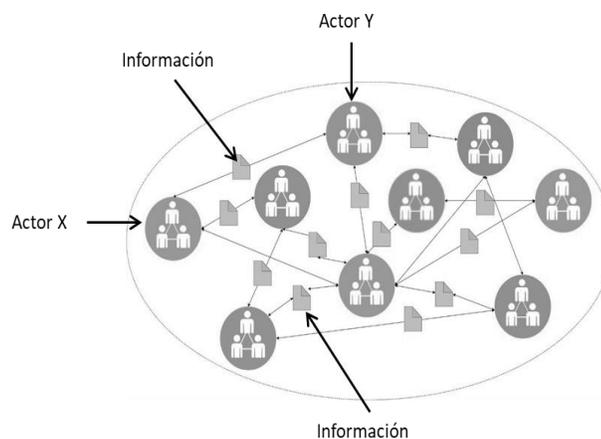
La posibilidad de comunicar la información de una edificación en planos digitales en dos dimensiones (2D) ha sido gracias a los avances tecnológicos y su integración al campo de la construcción desde los años 90 aproximadamente (Cardoso, 2012), momento desde el cual la industria viene usando las plataformas CAD como medio de representación para facilitar la colaboración en los entornos de trabajo. Estas plataformas contribuyeron significativamente en el desarrollo de los diseños técnicos y en la representación arquitectónica de un proyecto, permitiendo de cierta

forma agilizar el proceso de producción de la información, aunque bajo métodos de dibujo muy similares a los que se hacía a mano en tiempos anteriores.

El paso del dibujo en papel a la pantalla por supuesto fue un avance significativo, sin embargo, los procesos alrededor continúan siendo rudimentarios de cierta forma, porque no permiten la unidad e integración de la información; es decir, el conjunto de documentos que compone el diseño de una edificación está dado por un alto volumen de archivos desvinculados y de-sincronizados, como planos digitales (de arquitectura, ingeniería y otros), hojas de cálculos con presupuestos y especificaciones que en muchos de los casos no corresponde con la totalidad de la información desarrollada y definitiva. La desvinculación de la información lleva a problemas durante el proceso de creación que se reflejan en diseños incoherentes y desactualizados, lo cual conlleva a una serie de equivocaciones que repercuten de forma negativa en la economía del proyecto.

Así pues, la comunicación basada en múltiples archivos generados de estos métodos tradicionales solo permite el intercambio de la información separada del proyecto, además este modo de transferencia de información continúa siendo similar al anterior (comunicación basada en papel), aquí también se transfieren documento o dibujo en 2D, que pueden llevar a una toma de decisión equivocada o construcciones inapropiadas, establecer horarios inviables, desperdiciar los recursos y desestimar el costo del proyecto, etc.

Imagen 4: Representación islas de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Lo mencionado se puede ejemplificar a partir de la imagen 4. Esta representa un conjunto de organizaciones y disciplinas involucradas en el desarrollo de un proyecto que transfiere información bajo un proceso tradicional. En esta

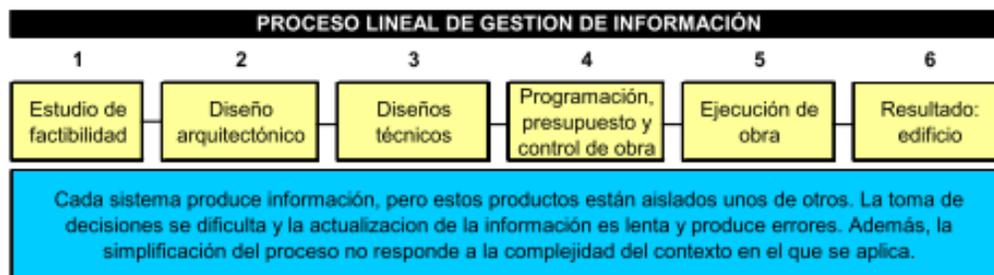
representación, la comunicación se da a partir de dibujos digitales en 2D, tales como: planos arquitectónicos, estructurales, eléctricos, mecánicos, hidráulicos y demás; el intercambio de archivos es realizado en doble sentido entre todas las partes interesadas, lo cual genera una dinámica que requiere por parte del receptor de la información una gran inversión de tiempo para ejecutar una revisión rigurosa de la documentación planimétrica: plantas, secciones, alzados, detalles, etc. , bajo un proceso “manual” y visual, sobreponiendo virtualmente los planos de cada disciplina una sobre otra, con el fin de identificar cualquier inconsistencia en la información recibida, y así reportar en cualquiera de los casos al responsable.

En este proceso cada componente se encuentra aislado uno del otro, lo cual causa que la toma de decisiones en algunos escenarios se da de manera unilateral, lo que no debería ocurrir en un trabajo en conjunto, aunque suceda en ciertas circunstancias por no tener toda la información disponible, o quizás porque no existe una cultura colaborativa en la organización o en el profesional que realiza la actividad (Latiffi, Brahim y Fathi, 2014).

Por tanto, el uso de las herramientas CAD y la comunicación bajo información en 2D (impresa o digital) se ve cada vez más limitada, porque se basa en procesos análogos a las técnicas manuales de representación, que se derivan de los procesos de producción secuencial (L. F. González, 2014).

De acuerdo a lo anterior, existe una necesidad que está dirigida a generar procesos de gestión de información que permitan resolver problemas complejos en el menor tiempo posible. De cierta forma, el proceso de producción lineal es análogo a los procesos de comunicación, y se denomina proceso lineal de gestión de información (PLGI) (imagen 5) (L. F. González, 2014).

*Imagen 5: El PLGI utilizado convencionalmente para desarrollar proyectos de construcción durante su ciclo de vida*



*Fuente: Cubillos (2010)*

El proceso lineal de gestión de la información, recibe este nombre porque es consecutivo; en él se espera a finalizar las actividades de una etapa para iniciar la siguiente, por ejemplo, los diseños técnicos no inician hasta finalizar los arquitectónicos, y así mismo, la programación o el presupuesto no inicia hasta finalizar los diseños técnicos, como lo muestra la imagen anterior. Su dificultad recae en que los actores que participan en una etapa, probablemente no tengan una comunicación directa con las partes de etapas futuras, así, el constructor entra al proyecto una vez este definida la totalidad de los diseños, donde la capacidad de maniobra es mínima y se reducen las posibilidades de los cambios en el proyecto. Por otra parte, las técnicas análogas de representación como herramienta de gestión en los procesos de producción secuencial tienen una limitación fundamental, al no existir una conexión real entre los diferentes dibujos de representación. Es decir, lo que se hace es dibujar las partes de un proyecto, y, a pesar de que estas pretenden describir un mismo origen, no están conectadas entre sí, porque cada dibujo es un objeto independiente (L. F. González, 2014).

### **Los medios de comunicación basados en herramientas tecnológicas de comunicación**

Sumado a lo anterior, la adopción de las TICs (tecnologías de la información y la comunicación) al campo de la construcción han generado un paso importante en relación a la comunicación tanto verbal como digital entre los actores involucrados en el desarrollo de una edificación; la comunicación a través del ordenador personal, la llegada de la Web a nivel mundial, las videoconferencias, los correos electrónicos, el uso de herramientas personales tales como móviles, tablets y demás, han provocado un paso significativo en relación a la gestión de información en todas las fases de la edificación.

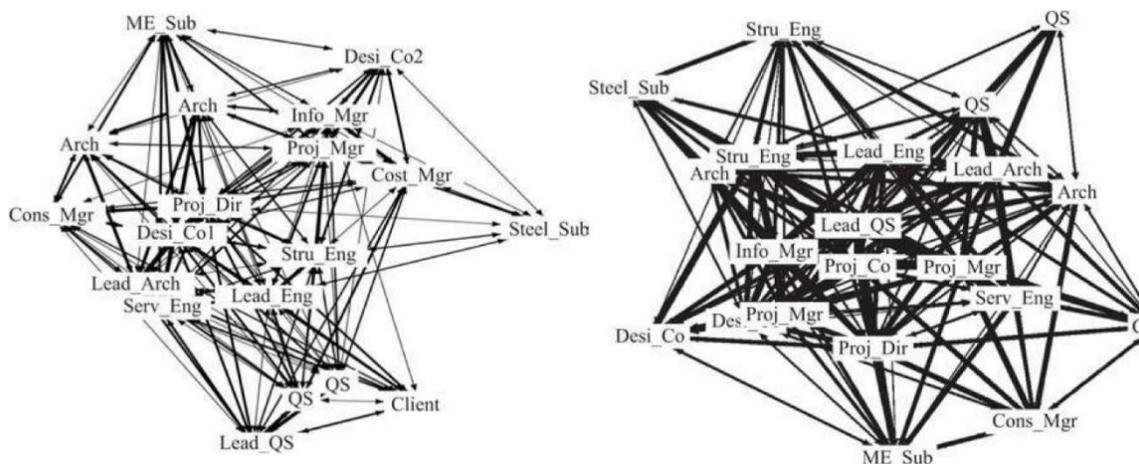
El uso de las TICs además ha dado lugar al trabajo deslocalizado ya que los medios digitales dan la posibilidad de comunicar cualquier tipo de información con los interesados sin estar sujeto a un encuentro personal, y esto provoca un impacto no solo en la comunicación entre los mismo si no a todas las operaciones empresariales, incluyendo la disponibilidad de la información y el abastecimiento de recursos de datos a nivel mundial, y el crecimiento de la publicación electrónica de la documentación técnica y en general (Edum, Thorpe y McCaffer, 2001).

No obstante, la colaboración digital y los medios masivos de comunicación plantean nuevos retos, como el seguimiento de las versiones, la propiedad intelectual de la información, ya que queda expuesta y desprotegida, por tanto, puede ser sujeta a un plagio, lo que involucra aspectos legales. Otros factores que pueden incidir en la buena marcha del proyecto, son las tomas de decisiones entre algunos particulares

de manera informal a través de aplicaciones móviles como Whatsapp u otra red social, que, al no ser transmitida a tiempo con los demás integrantes del equipo, con seguridad, lo decidido no se va ver reflejado en el diseño o en la obra, y al momento de identificar el no acatamiento de lo acordado puede ser tarde, y probablemente tendrá sus implicaciones funcionales o económicas para el proyecto.

De acuerdo a la investigación realizado por Xie, Wu, Luo y Hu (2010), la comunicación "libre" por medio de aplicaciones electrónicas son difíciles de controlar. En el proyecto estudiado por esa investigación, las redes de intranet fueron usadas para gestionar los dibujos con los demás participantes del proyecto, quienes mencionan en el estudio que "La computadora es buena para manejar información, y es rápida para intercambiar la misma". Sin embargo, los procedimientos de comunicación no fueron definidos claramente entre las partes que intervinieron, lo cual, llevó a una sobrecarga de información en cada una de las organizaciones, causando estrés innecesario e ineficiencia. El estudio menciona, además, que todos los actores se quejaron de que en ocasiones recibieron información irrelevante. En el mar de correos, la información útil fue ignorada, lo que provocó impactos significativos para el proyecto. Además, manifestaron la preocupación por él envió de información incorrecta / falsa a los miembros del proyecto, lo que resultó en malas decisiones.

*Imagen 6: Red de comunicación entre los actores de un proyecto de construcción*



*Fuente: Xie et al. (2010)*

La imagen 6, refleja el caos en los procesos comunicativos de un proyecto de construcción. Este es el resultado de los análisis del estudio de Xie et al. (2010), el cual deja en relieve la complejidad de la comunicación entre todos los actores que

intervienen en un proceso constructivo y la necesidad de centralizar las fuentes de comunicación.

Lo mencionado por el estudio anterior, no está alejado de la realidad actual. De un proyecto de construcción se genera una información desbordante, la cual es transmitida al interesado por el medio que convenga, haciendo uso de diversas plataformas de la web como correos electrónicos, Wettransfer, Drive, Dropbox, u otros, todo dependiendo de la necesidad, del tamaño de los archivos, y la inmediatez con la que se requiera transmitir la información. El problema es que no se determina un único medio de comunicación y transferencia de información, y esto genera tantos problemas como los mencionados por el estudio anterior y lo demás dicho en este capítulo.

En definitiva, las dificultades derivadas de la comunicación son producto de:

- La fragmentación de la industria de la construcción.
- La falta de herramientas que permitan la integración de toda la cadena productiva.
- La transferencia de documentos en 2D (involucra diseños técnicos, documentos contractuales y demás) mediante papel o aplicaciones CAD.
- La falta de estándares que den lineamientos a los procesos de comunicación.
- La falta de una fuente centralizada de la información.

Sin embargo, en los últimos años se han propuesto una serie de soluciones en la industria para mejorar la comunicación entre los colaboradores. Las soluciones van desde la elaboración de directrices y estándares que hagan efectiva la comunicación, aunque sea ligado a cambios culturales de trabajo y procesos de construcción. Las estrategias están dirigidas a la mejora de la relación de trabajo en el sector para impulsar la innovación tecnológica en la construcción (Mourshed, 2006).

Una de las estrategias mencionadas, es la introducción de *Building Information Modeling* (BIM). El uso del BIM es considerado por Gámez et al. (2014) imprescindible desde la fase más temprana del ciclo de vida de una edificación, ya que este involucra a todos los actores, desde el cliente hasta el último subcontratista. A partir de la elaboración del modelo 3D con toda la información incorporada, es posible hacer pre-construcción y adelantarse a los problemas, dando soluciones en todas las fases del proyecto, mejorando la planificación de la

construcción y reduciendo los imprevistos y la mejora de los aspectos energéticos y de sostenibilidad del edificio.

Las oportunidades que ofrece BIM en relación a los entornos integrados de diseño en 3D e interfaces digitales que ayudan a comprender mejor el diseño realizado y a comunicarlo a las partes interesadas, abre perspectivas y se considera como una contribución a los problemas de comunicación basada en información 2D que tanto se ha cuestionado en la construcción contemporánea.

Otros autores mencionan, que el uso de las herramientas tecnológicas que ofrece BIM junto a la metodología de Entrega Integrada de Proyecto (IPD) (*Integrated Project Delivery*) difundida por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) se hace fundamental para lograr la interoperabilidad entre los participantes del proyecto (Cardona, 2017), así mismo, Costa et al. (2015), menciona que la adopción de OpenBIM (BIM abierto) dentro del “universo BIM” es el camino para mejorar la interoperabilidad tecnológica en el campo de la construcción, el cual, a partir de la implementación de estándares abiertos busca ser el facilitador del intercambio de información entre todos los actores participantes.

De tal forma, la adopción de BIM junto a IPD dentro de un marco abierto y transparente como el planteado por OpenBIM se considera como el camino en la dirección correcta para sufragar los problemas de interoperabilidad en la industria de la construcción.

### **1.3 El impacto de los avances tecnológicos informáticos como medio de comunicación de la información en el proceso de diseño**

*“La información y el correcto uso de los datos son una de las claves para llevar a cabo un proyecto de construcción de forma exitosa” (Pardo, 2018,n/a)*

Los avances tecnológicos y los diferentes sistemas informáticos involucrados en el campo de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) a lo largo de los años, han impactado no solo en la forma de diseñar, representar, fabricar y construir las edificaciones, sino también en la manera de comunicar y gestionar la información en los entornos de trabajo colaborativos asociados al desarrollo de un mismo proyecto. Por lo tanto, las tendencias actuales de las TICs están proponiendo una amplia gama de herramientas para apoyar las labores de la industria de la

construcción, así como en las de comunicar y gestionar la información del proyecto de edificación durante etapas tempranas (Froese, 2010).

La introducción de estos nuevos sistemas tecnológicos se ha dado gracias a los avances computacionales y la re-potencialización de sus especificaciones, dado a la necesidad de expandir sus capacidades para soportar la velocidad en el procesamiento de la información y capacidad de almacenamiento que requieren diversas aplicaciones informáticas aplicadas al diseño arquitectónico. Permitiendo a los profesionales relacionados con esta tecnología mejorar su productividad, calidad y oportunidad, de manera que puedan dedicar un mayor tiempo en la mejora de sus diseños (Rojas y Rojas, 2006).

Estas herramientas están asociadas particularmente con la construcción de modelos de información (BIM) para el desarrollo e integración de proyectos, prometiendo grandes aumentos en la efectividad del diseño y gestión de la información. Sin embargo, estas mejoras requieren más que soluciones técnicas, ya que todo su potencial no se puede realizar sin los **cambios correspondientes en las tareas de trabajo** y al conjunto de **habilidades de los participantes** del proyecto (Froese, 2010). Por tanto Mourshed (2006), menciona que el potencial brindado por las plataformas no se ha alcanzado plenamente, debido a la falta de integración entre las aplicaciones y los procesos organizacionales que no armonizan dentro de una industria “fragmentada”.

Así pues, las dificultades que las organizaciones enfrentan actualmente con el uso de las TIC es la falta de interoperabilidad entre las personas y las aplicaciones para lograr comunicar eficientemente la información producida. Las empresas de la industria AEC están siendo presionadas por las nuevas relaciones comerciales, los nuevos retos contractuales tales como las condiciones puntuales de ciertos contratos, y el intercambio de información o documentos con nuevos clientes o colaboradores que a menudo se suelen ejecutar de forma automática y en formato electrónico, principalmente debido a los problemas de compatibilidad de los modelos de negocio y de las referencias de software adoptadas con las que se trabaja, gran limitante de la innovación y de la entrega integrada de un proyecto de construcción (Grilo y Jardim-Goncalves, 2010). Múltiples enfoques y estrategias se han implementado para superar estas problemáticas, aunque sin mucho éxito. Un informe de la Organización de Investigación Industrial y Científica (CSIRO) menciona que la mayoría de los enfoques tecnológicos han tratado de orientarse en los elementos vinculados al tiempo, la calidad y/o los costos asociados al proyecto de edificación. Sin embargo, la misma investigación ha señalado que el 85% de los problemas comúnmente están relacionados con los procesos y no con el producto

relacionado (las herramientas). Refiriéndose en términos de procesos, a la forma de concebir las edificaciones: una parte significativa de esos procesos están relacionados con la colaboración y la comunicación entre las partes interesadas (Mourshed, 2006).

En ese mismo sentido, Diaz (2020), menciona que las herramientas adquiridas por las compañías deben alinearse a los objetivos estratégicos de la organización, donde el software es el último proceso del eslabón de la transformación digital. Las compañías o los profesionales deben adquirir las herramientas tecnológicas cuando tengan claro qué van hacer con la información, como la van usar, con quienes se van a comunicar y cómo lo van hacer, etc. Es decir, cuando exista un plan organizacional, y eso reducirá los problemas relacionados al proceso comunicativo y aumentará la productividad para la industria.

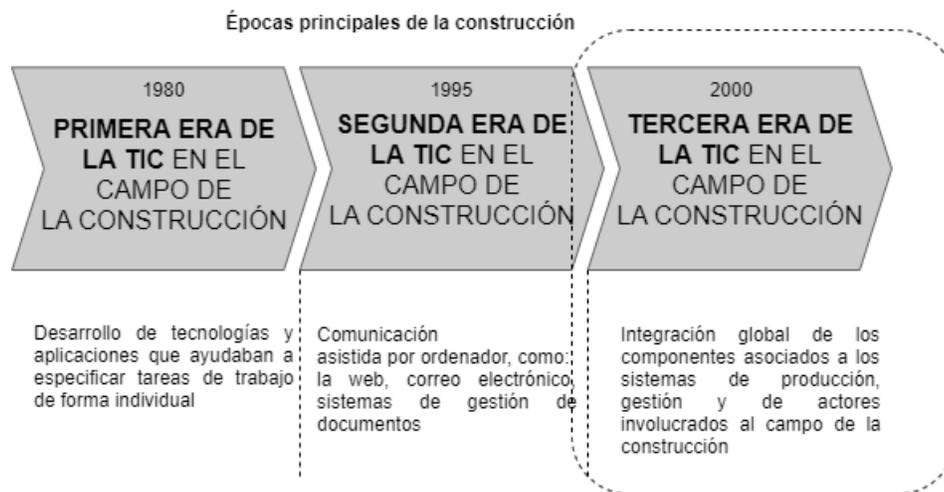
### **Las tendencias de las TIC en la construcción**

Como se ha mencionado, los cambios generados a partir de los avances en la tecnología de la información y la comunicación para la industria AEC no han sido únicamente técnicos, también han cambiado los procesos de gestión y comunicación. En tanto, el impacto y las tendencias de las TIC en la construcción pueden clasificarse en tres épocas a lo largo de los años (imagen 7) (Froese ,2010):

1. **La primera era de la construcción de las TIC**: históricamente el campo de la construcción se ha centrado en el desarrollo de herramientas independientes para ayudar a tareas específicas de trabajo, como las herramientas CAD, de análisis estructurales, estimación de costos, programación y aplicaciones de negocios en general. Esta era de la construcción de TIC ha estado en marcha durante más de cuatro décadas, y aún continúa haciendo parte de los procesos actuales de comunicación, tal como se mencionó anteriormente.
2. **La segunda era de TIC de la construcción** (desde mediados de la década de 1990), una tendencia que se ha centrado en comunicaciones asistidas por ordenador, por ejemplo, correos electrónicos, la Web, sistemas de gestión de documentos, etc. Esta era comenzó en gran medida con la llegada de la Web a escala mundial y la utilización de correos electrónicos a mediados de 1990. Es una era menos madura en el campo, con nuevas herramientas y funciones básicas todavía emergentes, y, en consecuencia, los procesos organizacionales aún siguen adaptándose y aún continúa haciendo parte de los procesos de comunicación.

3. **El tercer campo de la TIC:** Gran parte de las investigaciones y desarrollos en relación a las TIC en el campo de la construcción se ha centrado en la última década no solo en aplicaciones o transacciones individuales, si no en el potencial de unirlos en un sistema global cohesivo a través de la integración.

Imagen 7: Las TIC en la construcción.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados de Froese (2010)

Esta tercera era de las TIC, donde actualmente nos encontramos, responde a las complejidades actuales de abordar el proyecto constructivo, donde la participación de expertos en diferentes disciplinas se puede conjugar simultáneamente en un mismo proyecto (Ocampo, 2015). Una participación que tradicionalmente se ha llevado a cabo a través de reuniones periódicas y presenciales, superposición de la información planimetría ya sea digital o manual, o a través de solo comentarios por correos electrónicos, etc.

Por lo tanto, las tecnologías emergentes dentro de la tercera era de las TIC abordan los problemas de integración de la información, que hacen necesaria la gestión de un conjunto de datos y documentos, creando tareas conjuntas para ofrecer el nivel de consistencia y fiabilidad de la información en la construcción como soporte para la toma de decisiones. Como resultado BIM se ha introducido en proyectos de construcción de manera eficiente por sistemas computarizados y gestión integrada de la información (Latiffi et al., 2014).

Por ello, en los últimos años BIM se ha convertido en un área de investigación activa con el fin de abordar los problemas relacionados con la integración de la información y de la interoperabilidad. Actualmente, la construcción de modelos de información (BIM) dentro de un entorno de trabajo abierto (OpenBIM) promete ser facilitador de

la integración, la interoperabilidad y la colaboración para el futuro de la industria de la construcción. Pues, las definiciones de BIM lo ponen de relieve como el facilitador de procesos colaborativos. En paralelo el trabajo en equipo es un aspecto importante de la gestión del edificio durante el ciclo de vida.

Lo anterior, hace de BIM en la actualidad una necesidad, incluso, en muchos casos ya hace parte de la exigencia contractuales por parte de algunos clientes, así lo demuestran las encuestas realizadas por la presente investigación, pues el 37% de los participantes en el estudio respondieron que el principal motivo por el que él o la compañía en la que labora ha implementado la metodología BIM ha sido por solicitud específica del cliente (ver anexo 1, imagen 104, pág. 310), lo cual ha llevado a cambiar las dinámicas en las relaciones empresariales, requiriendo de una mayor integración y comunicación tanto interna como externa, abriendo un abanico de posibilidad en relación con el propietario de la edificación, los diseñadores, los técnicos, los inversionistas y demás interesados en el proyecto. BIM hace parte de la realidad actual, se sale de un plus adicional que años atrás podrían ser parte de las estrategias comerciales y del valor agregado de una organización.

Aunque Díaz (2020), considera que BIM es solo una pequeña parte de esa transformación digital que se viene dando no solo en el campo de la construcción sino en la sociedad en general. Diferentes sectores han avanzado de manera exponencial en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías, lo que los ha llevado incluso a cambiar sus modelos de negocio para poder adaptar la tecnología a las necesidades cambiantes de los consumidores, quienes requieren hoy día más que una maqueta 3D para visualizar, planificar y gestionar su proyecto.

Por tanto, el proceso de diseño contemporáneo requiere de nuevas estrategias para comunicar las ideas, ya sea con el cliente, el gerente, los diseñadores técnicos o los mismos grupos de trabajo, que ayuden a visualizar y comprender un entorno edificable antes de ser construido o materializado. Los avances tecnológicos han impactado en todos los procesos que conducen al diseño de un proyecto arquitectónico.

### **La realidad aumentada**

Según, Pour, Chavdarova, Oliver y Chamo (2019), la visualización avanzada hace frente a las cuestiones relacionadas con la participación del cliente y las partes interesadas que no tienen una formación técnica que les permita captar y visualizar espacialmente una zona de la edificación a través de planos geométricos en 2D,

incluso en modelos técnicos como los que se desarrollan a través de diferentes plataformas BIM.

Así pues, la integración de las herramientas que hacen parte de la metodología BIM y las tecnologías de realidad virtual (RV) también tienen como objetivo aumentar la productividad del trabajo y el uso creciente de la información. La integración en tiempo real a través de tecnologías de RV permite al usuario trascender en tiempo real al entorno físico de todo el proyecto, que a su vez abre una posibilidad para la interacción y la simulación de análisis más eficiente del proyecto (Pour et al., 2019).

Tal como lo muestra la imagen 8, el cliente o cualquier otro interesado puede recorrer la edificación haciendo uso de la inteligencia artificial, que por medio de las gafas conectadas al dispositivo electrónico puede vivir una serie de experiencias y sensaciones al interior de su inmueble antes de ser construido.

*Imagen 8: Uso de tecnologías de realidad virtual*



*Fuente: Pour et al. (2019)*

La integración de las tecnologías de RV puede significar para una empresa de arquitectura no solo el aumento en la competitividad y un valor adicional que puede ofrecer como estrategia de negocio, si no también, un mayor acercamiento al cliente, quien puede desempeñar un papel activo en el perfeccionamiento del diseño, con cambios implementados instantáneamente en el modelo virtual (Mortice, 2019). Esto también podría permitirle al área comercial del proyecto aumentar la demanda en sus ventas, dado a la facilidad y claridad que podría tener el interesado sobre la espacialidad del proyecto que compraría. Y al finalizar la construcción, los operadores podrían hacer usos de esta RV para mantener los edificios y reemplazar los equipos ya sean mecánicos o de cualquier otra tecnología.

La capacidad de comunicación entre las organizaciones que desarrollan un modelo BIM arquitectónico y el área comercial dedicada a las ventas, es fundamental para lograr los objetivos y los planes de trabajo que beneficien el buen desempeño del proyecto y se atiendan las necesidades de los consumidores que en este caso pueden ser quienes realizan la compra del inmueble, y esto compromete de manera directa la comunicación con el área de arquitectura en relación a las modificaciones de áreas comerciales, cambios de especificaciones, distribuciones espaciales y demás.

Llevar un modelo BIM a una plataforma como Unity (plataforma dedicada a la recreación realista del espacio), por ejemplo, le permite al diseñador simular la acústica de las ondas de sonido que pasan por una instalación y la manera en que rebotan en un material específico; los usuarios pueden escuchar la diferencia entre el sonido que se refleja en un árbol frente a un pedazo de piedra, o una ventana abierta o cerrada (Mortice, 2019).

Por tanto, esta necesidad de integrar las herramientas tecnológicas, que operan en un mundo cada vez más abierto, que además han impactado en la forma de diseñar y vender los proyectos de construcción han llevado a muchas casas fabricantes de software a cambiar sus modelos de negocio y ser totalmente abiertas y a operar dentro de esta nueva lógica llamada OpenBIM. Así, es como a finales del año 2019, Unity lanzó el *Unity Reflect* como complemento de visualización 3D para el software BIM Autodesk Revit. *Unity Reflect* traduce los modelos BIM en un modelo 3D integrado que retiene los metadatos BIM y requiere poca experiencia técnica para explorar y modificar (Mortice, 2019).

Pero si la interoperabilidad entre las plataformas no existe, difícilmente se logra solventar las expectativas del cliente, o tal vez esto requiera duplicar o triplicar los esfuerzos entre las organizaciones o compañías, ya que va requerir nuevamente la construcción del modelo 3D en una plataforma que sí sea interoperable con la de RV, porque el modelo generado en la plataforma BIM no pudo ser usado para la recreación del espacio en RV y esto plantea la deficiencia y los problemas de interoperabilidad.

Y aunque en la actualidad, es posible que no existan limitaciones tecnológicas en relación a poder comunicar una herramienta con la otra (Díaz, 2020), las dificultades se presentan cuando los usuarios no saben qué hacer con la información, cómo trasladarla, en qué momento hacerlo, qué se necesita del modelo creado, etc. Por

tanto, la transformación digital es un desafío de personas, no de tecnología, tal cual lo menciona el informe de Expansión (2016).

### **El servicio en la nube**

El uso de modelos BIM y la desbordante información que resulta de un proyecto de construcción ha llevado a la necesidad de hacer uso de plataformas en la nube como Dropbox, Drive, BIM360, BIMCloud, etc., para centralizar la información y que el proceso de comunicación resulte eficiente. De acuerdo a Juan y Zheng (2014), la información abierta y estructurada en la Web puede mejorar efectivamente la eficiencia y la comodidad del intercambio de información de un proyecto de construcción durante la etapa de diseño y las demás facetas del ciclo de vida de la edificación.

Una plataforma de servicio en la nube permite administrar y compartir la información durante todo el ciclo de vida de un proyecto, depositando la información en una única fuente de datos a la cual tiene acceso todos los integrantes del proyecto, lo que mejora la toma de decisiones, asegura que todos trabajen con la información más actualizada, permite una mayor colaboración al poder compartir los diseños bajo una fuente común de datos, y esto conduce a una entrega integrada del proyecto.

Otra serie de aplicaciones en la nube como BIM 360 Desing concretamente, permiten el trabajo conjunto integrado en tiempo real, es decir el arquitecto, ingeniero y los demás diseñadores pueden hacer modificaciones y avances en el proyecto laborando al mismo tiempo en una misma fuente de información, lo que permite una comunicación mucho más ágil ya que no es necesario esperar hasta el próximo comité técnico para dar solución a los inconvenientes.

Sin duda, el manejo de la información y el almacenamiento en la nube ha impactado sobre la forma de comunicar y gestionar los datos de un proyecto de construcción, el problema resulta cuando no se tiene claramente definidos los protocolos de intercambio y las restricciones del acceso a la nube. No establecer las fechas para subir los documentos a la red, el inadecuado seguimiento de las versiones, la falta de administración de la plataforma y demás, pueden generar grandes problemáticas en el proyecto.

### **Uso de metadatos**

El uso de modelos paramétricos y los metadatos asociados a los componentes u objetos del modelo 3D ha significado un paso importante en contraste con el dibujo en 2D. El uso de información asociado a los objetos que recrean un entorno virtual construido está abriendo la puerta a nuevas disciplinas y a subcontratistas o fabricantes para que se integren desde la fase de diseño al proyecto de construcción.

El hecho de contener la información relacionada a los costos, materiales, dimensiones, pesos, resistencia contra el fuego, tiempo de vida útil de los elementos y demás aspectos, permite tomar decisiones certeras desde el momento de la planeación o diseño, previendo cualquier impacto que pueda ser significativo para el proyecto en fases posteriores, además permite la adecuada elección de un determinado proveedor u objeto que se pretenda incorporar al proyecto.

En Colombia, ya se evidencian promovedores que ofrecen exhaustivas bibliotecas de sus productos con el objetivo de estar a la vanguardia de la tecnológica y ser competitivos, el problema en muchos casos se da cuando el proveedor se limita a una sola casa fabricante o plataforma BIM. En el caso Pavco, proveedor de instalaciones MEP (mecánico, eléctrico y plomería), solo por dar un ejemplo, ofrece sus bibliotecas de tuberías únicamente para la herramienta BIM Revit Autodesk, que, por tanto, serán leídas y usadas únicamente por aquellos usuarios o clientes que hagan uso de esa plataforma, pero no tendrán disponibilidad a estos enormes datos las persona que laboren bajo un software BIM diferente, como Cype MEP o cualquier otro.

Lo anterior niega las posibilidades del uso global de la información, lo cual es uno de los tantos problemas de la interoperabilidad en BIM, y es precisamente lo que busca solucionar la adopción del concepto OpenBIM. ¿Qué sucede si el profesional que trabaja en el software BIM Cype MEP requiere de un objeto de la biblioteca de Pavco ?, probablemente lo consiga, pero requeriría de procesos que toman tiempo: descargarlo, solicitarle a un colega que sí use Revit que convierta este elemento a IFC (formato abierto que opera dentro de OpenBIM, expuesto en el capítulo 4) y se lo envíe por un correo electrónico. Quizás esto funcione, pero los tiempos “muertos” o perdidos pueden ser una amenaza para el proyecto. Además, el proceso mencionado puede conducir a errores que se reflejan en la lectura de la geometría del elemento, pérdida de información relacionada a los costos, referencia de marca y demás que pueden ser cruciales y de interés para algún integrante del entorno de trabajo.

No obstante, los metadatos incorporados en los modelos de información generan un valor importante para el proyecto, y se convierten en uno de los elementos más significativos de comunicar, en esto se puede marcar la diferencia en relación a la “exactitud” de un presupuesto, una programación de obra, la elección de un material o la toma de decisiones importantes, como puede ser el aumento de las cargas estructurales en determinado punto dado el peso de cualquier equipo. Al estar contenida toda esta información en un modelo se disminuyen una cantidad de documentos, fichas técnicas y demás papeles desvinculados que resultan de un proceso tradicional, y esto sin duda genera un impacto importante en la comunicación porque el volumen de información está contenida y unificada.

Todo lo anterior y otros sistemas tecnológicos (drones, levantamientos con nubes de puntos, escáner láser, etc.) han impactado en la manera de comunicar la información, aunque el objetivo indiferentemente del sistema usado apunta en la misma dirección, la eficiencia, la lectura fácil y cómoda de la información, la disminución de incertidumbre en el diseño, aumentar la relación con el cliente, generar edificaciones sostenibles y amables con el medio ambiente, reduciendo los desperdicios en la construcción, etc. Por tanto, los sistemas tradicionales de gestión y comunicación deben cambiar, y fomentar el uso libre de estas nuevas herramientas tecnológicas que propicien la eficiencia y eficacia de un proceso de diseño donde los resultados serán reflejados en etapas posteriores.

## **1.4 La interoperabilidad en el proceso comunicativo durante el desarrollo de una edificación**

De acuerdo a la definición inicial de interoperabilidad dada por Tchouanguem et al.(2019), esta es comprendida como la capacidad de comunicación que puede existir entre las organizaciones y/o los individuos para trabajar conjuntamente, intercambiado información de un lado a otro a través de sus herramientas tecnológicas adoptadas, por medio de las cuales comunican y comparten la información necesaria para lograr un objetivo común. O de una forma más simple, la interoperabilidad es la capacidad de comunicación entre las personas y entre los diferentes tipos de software.

Ahora, desde una mirada del campo de la construcción que compete a esta investigación, el concepto de interoperabilidad envuelve dos componentes fundamentales: uno, la comunicación entre las organizaciones o profesionales involucrados en el desarrollo de un mismo proyecto de edificación, y dos, la comunicación tecnológica que debe existir entre las herramientas adoptadas para compartir el conocimiento y la información necesaria entre las partes involucradas,

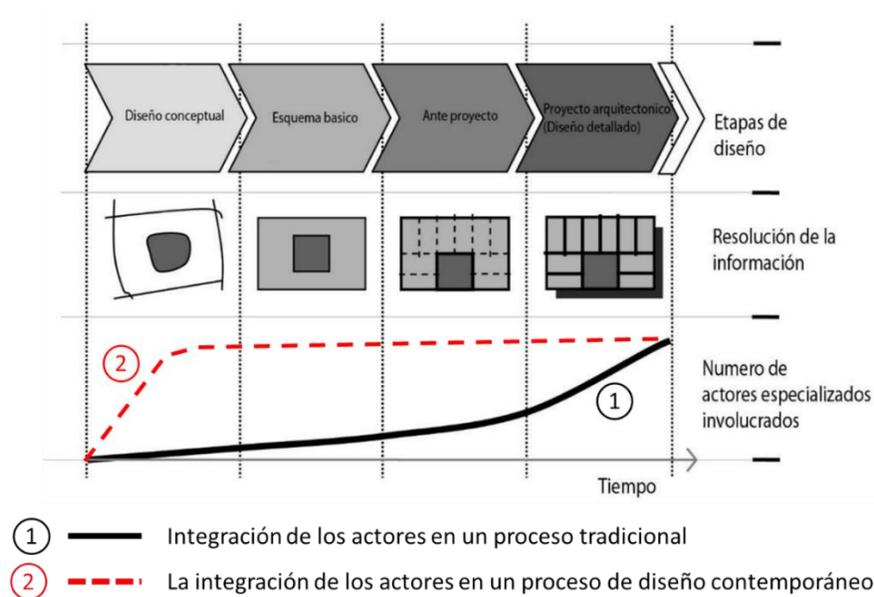
además de leerlas e interpretarlas. No obstante, la definición de lo que significa interoperabilidad, va más allá de la tecnología, a menudo se define como la capacidad de implementar y administrar relaciones de colaboración entre miembros de equipos de construcción interdisciplinarios, lo que permite la ejecución integrada de proyectos (Knox, 2016). En ese sentido el factor humano juega un papel fundamental donde la práctica a nivel cultural toma mayor fuerza.

De acuerdo a Knox (2016), la interoperabilidad relacionada a la construcción cada vez se torna más indispensable. A medida que el entorno de una edificación se digitaliza con mayor frecuencia y se basa cada vez más en el uso de herramientas tecnológicas como el modelado de información de construcción (BIM), la necesidad de interoperar aumenta drásticamente, lo cual provoca un gran reto a la industria, y se requiere de un cambio en los hábitos laborales y comunicativos para trabajar conjuntamente.

#### **1.4.1. Ámbitos de la interoperabilidad en el proceso de diseño y construcción**

En un proceso tradicional de desarrollo de una edificación, los actores participantes se involucran a medida que evoluciona y avanza la etapa de diseño, luego de concluir ciertas condiciones como evaluaciones normativas, requerimientos técnicos y demás aspectos solicitados por el cliente. Por lo tanto, la cantidad de la información varía de una etapa a otra en sus resoluciones (curva 1 de la imagen 9), es decir, la información es detallada con mayor precisión a medida que avanza el proyecto; por ejemplo, durante la viabilidad y planificación, es suficiente concebir el edificio como un volumen o una masa que ayude a determinar la cabida sobre un terreno, el aprovechamiento del mismo y otros asuntos normativos como retiros, alturas, densidad, etc. Sin embargo, esta información no es suficiente en etapas futuras, otros requerimientos como el comportamiento estructural, energético, bioclimáticos y demás empiezan a ser necesarios (Mourshed, 2006). El logro de la interoperabilidad multidisciplinaria, distribuida y fragmentada depende de la flexibilidad y fuerza de almacenamiento, la extracción e intercambio de información.

Imagen 9: Resolución de la información en las diferentes etapas del diseño arquitectónico



Fuente: Tomado y traducido de Mourshed (2006), adición curva 2

Los métodos contemporáneos de diseño están dirigidos a una integración de los actores desde etapas mucho más tempranas. Los procesos secuenciales o lineales que atañen a los métodos tradicionales están propensos a una pérdida de conocimientos aportados en etapas iniciales que dejan pasar por alto un valioso aporte que pueda optimizar económicamente el proyecto o generar un mayor rendimiento y funcionalidad de la edificación. Esto provoca reprocesos en la producción de la información o el replanteo de los diseños de otro especialista en etapas futuras. Por lo tanto, se podría pensar en una modificación de la curva 1 de la imagen 9, donde mayores disciplinas se integren desde el diseño conceptual, así como lo muestra la curva 2 de la imagen 9, y no sea suficiente contar tan solo con el arquitecto y el cliente en el inicio. De acuerdo a Eastman et al. (2011), durante un proceso tradicional los análisis se hacen al final del proceso, cuando ya es demasiado tarde para realizar cambios importantes. Debido a que estas mejoras iterativas no ocurren durante la fase de diseño, algunos aspectos de ingeniería deben llevarse a cabo para abordar las inconsistencias, que a menudo resultan en compromisos para el proyecto.

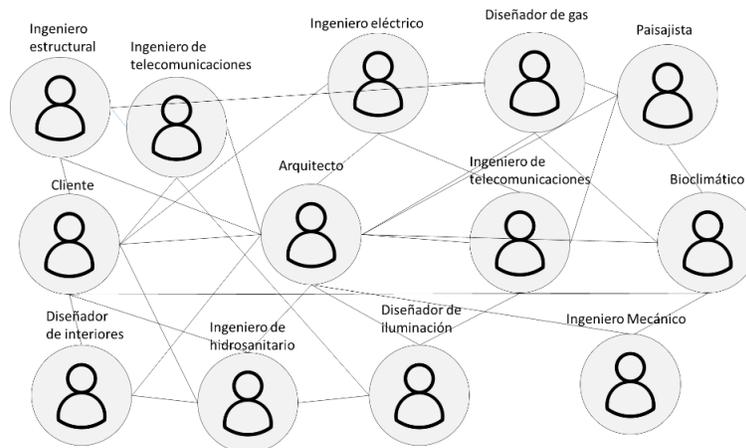
Por tanto, el impacto del desarrollo tecnológico en la arquitectura se dirige hacia la integración interdisciplinar, en donde el arquitecto traslape sus conocimientos con

diversas especialidades y a su vez esas mismas disciplinas intervengan en la arquitectura.

### **La comunicación interdisciplinar**

En el caso hipotético de una edificación comercial, considerado como un proyecto “especial”, el número de disciplinas que intervienen en el diseño pueden ser: arquitectos, ingenieros estructurales, eléctricos, hidrosanitarios, mecánicos, de telecomunicaciones, diseñadores de iluminación, interiorismo, paisajistas, bioclimáticos, el gerente/cliente y otros consultores especialistas que actúan puntualmente en el proyecto.

*Imagen 10: La comunicación en el proceso de diseño tradicional*



*Fuente: Elaboración propia*

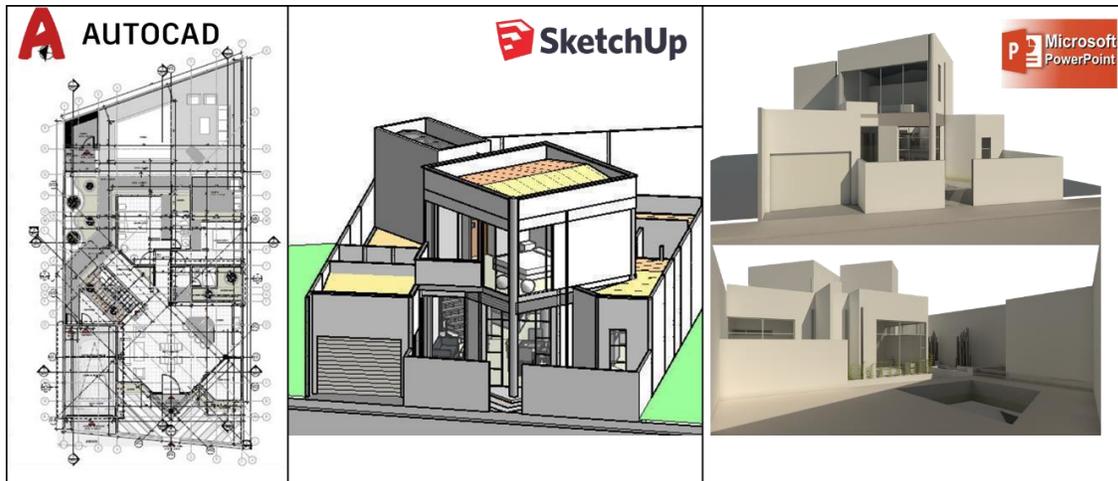
La imagen 10, representa islas de profesionales con determinadas formaciones disciplinares, las cuales trabajan estrechamente durante la etapa del diseño intercambiando información de acuerdo a los métodos tradicionales de gestión.

Los ámbitos de interoperabilidad se dan de diversas formas y están relacionados a la necesidad de comunicar la información producida entre las partes. En ese sentido los ambientes de comunicación están dados entre arquitecto/cliente, clientes/diseñadores, arquitecto/especialistas técnicos, arquitecto/área comercial, diseñador A/diseñador B, etc. Aunque lo anterior, está sujeto al modo de contratación, es decir, el cliente podría contratar al arquitecto y este a su vez podría convenir con las demás disciplinas, siendo así el cliente el responsable de la administración y la vigilancia de los compromisos de cada una de las especialidades. Otra forma podría ser que el cliente delegue la responsabilidad

sobre el arquitecto quien entraría a ser el responsable de los aspectos tanto administrativos como técnicos. Todo el ambiente laboral está relacionado al sistema de contratación empleado para el proyecto. Un caso típico de contratación en el país es que la responsabilidad de contratación está dada por el cliente y él sea el administrador del proyecto, aunque esto no deja de lado que las relaciones entre los diseñadores sean estrechas y continuas, ya que los diseños de uno frente al otro conllevan responsabilidades. Por su lado el arquitecto busca garantizar ante el cliente que el proyecto diseñado sea funcional, tanto técnico como espacialmente, que cumpla con las expectativas de quien lo contrata y con su compromiso moral al desarrollar una obra propia, lo cual hace necesaria una coordinación exhaustiva y rigurosa con cada uno de los técnicos para obtener el resultado que él mismo espera y que pretende vender a su cliente.

Así pues, la relación entre el arquitecto y el cliente tiene diferentes fondos y propósitos: Uno de ellos es conocer la marcha del proyecto, evaluar las propuestas de diseño, viabilidades comerciales, y apreciar el alcance del diseño en función de sus requerimientos. Por tanto, en las fases iniciales de un proyecto se requiere un análisis espacial y visual (Eastman et al., 2011), una dinámica comunicativa basada en imágenes o “rendes” (imágenes realistas) ya que un cliente típico no tiene la destreza para comprender el espacio a través de planos técnicos y por consiguiente no le ayudan a tomar decisiones contundentes de aspectos espaciales, materialidades, y de funcionamiento.

Bajo un método tradicional, la preparación de la información para presentar al cliente, desde el área de arquitectura o de interiorismo, requiere del uso de diferentes herramientas como: AutoCAD para producir la información planimétrica, Sketchup para modelar lo dibujado y renderizar las imágenes, para luego juntarlas en una presentación de Powerpoint, tal como lo ejemplifica la imagen 11.

*Imagen 11: Proceso tradicional de trabajo para presentación de una propuesta arquitectónica**Fuente: elaboración propia*

En ese sentido, este proceso requiere de la conexión de tres herramientas tecnológicas (AutoCAD, Sketchup, Powerpoint). Y si bien, el proceso puede realizarse al interior de una sola compañía también puede existir la colaboración con un externo, ya que por temas contractuales al departamento de arquitectura no le corresponde hacer las imágenes, pero si al diseñador de interiores con quien colabora. En ese caso ambos trabajan en una propuesta, y las interacciones entre uno y el otro se da a través del envío de los planos arquitectónicos (geometría en 2D) y la recepción de las imágenes que reflejan la propuesta de interiorismo. Esto requiere de una dinámica como la mencionada anteriormente, el interiorista recibe la información, la modela y renderiza las imágenes para luego presentárselas al interesado.

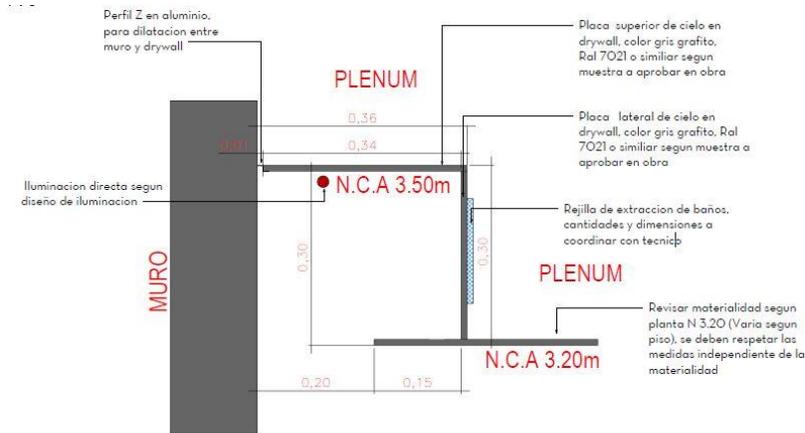
Siguiendo el proceso anterior, debe existir una confianza por parte del propietario para que los diseñadores guíen, a través de planos 2D, imágenes renderizadas y animaciones el buen desarrollo del proyecto, sin embargo, esto no garantiza que se cumplan todas las expectativas del propietario (Eastman et al., 2011). Puede existir una propuesta errada por la falta de interpretación del plano arquitectónico por parte del interiorista, un error común, ya que este no conoce suficientemente el proyecto y la propuesta aprobada por el cliente no se alinea con las intenciones arquitectónicas, y allí se puede dar una disputa entre estas disciplinas.

Ahora, la relación entre el arquitecto y el ingeniero estructural se establece una vez existe una idea arquitectónica aprobada, para evaluar así, algunos aspectos técnicos del sistema estructural, distancia entre ejes, dimensionamiento de los

componentes estructurales, altura entre niveles y demás. En este proceso de forma tradicional, la comunicación se da mediante planos en AutoCAD, inicialmente el arquitecto envía la información, el ingeniero la evalúa para luego definir una reunión presencial (cuando se requiere) y solventar cualquier duda que surja en cuanto al planteamiento arquitectónico. Aquí también se debe considerar que el diseño de una estructura y sus cimentaciones dependen del estudio de suelos y demás aspectos topográficos, por ende, en este proceso puede ingresar un tercer actor, el topógrafo, geotecnista o cualquier otro encargado de este asunto.

De acuerdo a lo anterior, ya no entra en juego solo planos arquitectónicos, también documentos técnicos que determinen los resultados del estudio de suelos. El arquitecto además no contará solo con planos estructurales y del terreno, también con documentos de archivos en Excel que corresponden a los cuadros de cargas de la estructura del proyecto. En este proceso no solo se requiere de planos con elementos geométricos que definan el proyecto, sino también información alfanumérica que establezca las cargas de la estructura u otras consideraciones.

De la misma forma se establece la comunicación con los demás diseñadores, la información de base para cada especialista es el planteamiento arquitectónico, a partir de allí cada una de las disciplinas inician sus labores de acuerdo a la información planimétrica suministrada, cuadros de áreas, presentaciones ilustrativas del proyecto, imágenes, rendes, animaciones y demás. Todos estos documentos son compartidos con el ánimo de que el interesado logre entender la generalidad conceptual y espacial del proyecto. También se requiere de un nivel de detalle suficiente para que cada diseñador logre percibir de manera clara lo que le corresponde intervenir, por ejemplo, los detalles de los cielos deben ser precisos para que el diseñador de iluminación comprenda que en cierto espacio se pretende generar una luz indirecta, o que el diseñador mecánico comprenda que la rejilla de ventilación del baño se quiere oculta y no dejarla a la vista de los usuarios, por ejemplo (imagen 12).

*Imagen 12: Detalle de iluminación en cielo**Fuente: Elaboración propia*

La comunicación bajo planos digitales no es suficiente en la actualidad, y esto lo demuestra el alto porcentaje de personas (92.6%) que respondieron NO a la pregunta: “¿Considera usted suficiente compartir información planimétrica con las demás disciplinas en formato DWG?” de la encuesta realizada por la presente investigación (ver anexo 1, imagen 117 pág. 321).

Los esfuerzos que se generan en la interpretación de planos son arduos y poco satisfactorios, se requiere de trabajo adicional, reconstruir información, especialmente aquellas disciplinas que emplean herramientas de modelado 3D para análisis, como en ingeniero estructural quien puede usar una plataforma como SAP 2000, Robot, etc., u otras especialidades que requieren del manejo de software para la planificación de espacios y estudios bioclimáticos como Ecotect, GreenBuilding, Studio, etc.

Por tanto, el intercambio de información en la fase de diseño exige cada vez más la evolución hacia herramientas avanzadas de modelado, análisis, visualización y simulación (Carbonell et al., 2015), que además logren comunicarse de manera eficiente entre las mismas de acuerdo a la necesidad de intercambiar información entre los especialistas involucrados, donde cada uno realiza su labor bajo un software específico que se ajuste a sus necesidades.

Además, el método tradicional no permite la integración de las disciplinas desde etapas tempranas ya que se requiere de una información consolidada para garantizar el acertado avance en las actividades de cada uno de los diseñadores, un proceso lineal que tiene muchas rupturas y dificultades. La fragmentación solo

permite el avance individual y poco certero, pues a medida que un diseñador avanza otro estará haciendo ajustes en su área, y al no existir una buena comunicación cada uno seguirá un camino no concertado que los podría alejar de la dirección acordada en el proyecto.

### **1.4.2 Niveles de interoperabilidad en la gestión de la información digital**

Según lo descrito anteriormente, se puede anotar que los niveles de interoperabilidad en la industria de la construcción suelen ser deficientes; la falta de integración de los actores desde etapas tempranas del proyecto hace que surjan diferentes problemas durante las distintas fases de la edificación.

En la ejecución de una obra, problemas varios de construcción se dan por la deficiencia de la documentación de los diseños. De acuerdo a Sánchez, García y Soler (2014), el proceso habitual de identificación y respuesta suele ser el siguiente: La constructora explica al director del proyecto el problema evidenciado, y éste contacta con el estudio de diseño (arquitecto) para buscar o proponer la solución más adecuada. En algunos casos la respuesta no suele ser de forma inmediata, pues el arquitecto con quien el constructor se comunica (ya sea mediante un mensaje de texto, una llamada telefónica o email) es un integrante más de un equipo de trabajo detrás del desarrollo del proyecto y, por ende, no puede tomar decisiones de forma unilateral.

Se requiere entonces una reunión interna en el estudio de arquitectura en la que asista el grupo de desarrolladores y evalúen la propuesta del constructor, sin embargo, el impacto del problema puede ser tan grande que la decisión no depende solo del arquitecto, sino también de la gerencia o el cliente, porque acarrea asuntos presupuestales. Así pues, tal vez se requiera de una reunión más, que podría tardar en concretarse una semana o dos, todo depende de la disponibilidad de tiempo de las partes. De esa forma se dilata la capacidad de respuesta debido a la misma desintegración de los actores.

En la fase de inicio de un proyecto que se desarrolla bajo un método tradicional, la interacción entre el arquitecto y el cliente es poca relativamente, y eso conlleva una serie de dificultades que trasciende en gastos para el proyecto dado el elevado costo que tiene el diseño al incurrir en muchos cambios por la misma inestabilidad del cliente o porque simplemente el arquitecto no lo involucra en el proceso, y si al final el interesado no está a gusto, se deberá replantear asuntos del diseño. Por

tanto, y en concordancia con Sánchez et al (2014), la comunicación entre el equipo y la colaboración con el cliente es esencial para lograr una gestión eficiente en los proyectos de construcción.

La interoperabilidad entre el cliente y el arquitecto tiende a ser muy baja porque no hay una articulación entre estos actores; el cliente llega con sus necesidades al despacho de arquitectura, éste trabaja en resolverlas durante un determinado tiempo y cuando cree tenerlas listas acuerda una reunión con su cliente para evaluar las propuestas. Al no estar a gusto el cliente, el arquitecto repite una y otra vez el proceso de desarrollo hasta que el propietario queda satisfecho. Sin embargo, este proceso o este “punto de conformidad” puede tardar 2 o 3 veces más de lo que se tenía planeado, y como se dijo anteriormente, esto se debe a la falta de integración de los actores, deficiencias en los procesos comunicativos, falta de estándares y políticas poco claras de algunas organizaciones.

No obstante, lo anterior puede ser evitado si se adopta desde etapas muy tempranas un proceso participativo con el cliente, donde él esté al tanto de lo que sucede en el proceso de diseño esto traería grandes beneficios, como puede ser que el “punto de conformidad” no tarde 2 o 3 veces más de lo previsto, si no que los diseños se desarrollen en el tiempo definido o quizás solo un poco más, dado algún imprevisto que surja.

Lo anterior debe ser aplicado en cualquier tipo de proyectos, aunque en conversación con Francisco Posada, director de proyectos de diseño de la empresa AIA (Arquitectura, ingeniería Asociados), él menciona que en una edificación comercial que tiene un grado de complejidad mayor a cualquier otro proyecto común, la alta interoperabilidad con el cliente es fundamental para lograr los objetivos planteados en el tiempo destinado. A diferencia de un proyecto habitacional, un centro comercial puede ser tan cambiante y tan versátil como se quiera pensar. Aquí entran en juego las áreas comerciales y los intereses particulares del cliente que están por encima de cualquier decisión técnica, es decir, el propietario difícilmente sacrificará un área comercial por darle espacio a un cuarto técnico, aunque se requiera, y éste termina resultando ubicado en el espacio que menos aprovechamiento lucrativo pueda tener, aun cuando los recorridos de las instalaciones y demás, se vuelvan más tortuosas y muchos más extensas.

Todo esto resulta ser tan complejo, que los intereses comerciales no afectan solo la arquitectura, sino a todos los componentes técnicos que un proyecto pueda tener.

Además, todo se debe atender con agilidad, pues, el área de ventas espera una confirmación de los ajustes para concretar con un determinado usuario, comprador o consumidor, la negociación del local comercial.

Ahora si las ventas comercialmente no funcionan, se debe incurrir en estrategias que atraigan compradores, aunque esto signifique redistribuir todos los espacios comerciales que se tengan sobre un piso. En ese caso el cliente hace la solicitud al equipo de arquitectura para que trabajen en una propuesta y puedan evaluarla en el momento que se defina. Una vez más se replantea la distribución comercial de determinado piso, buscando atraer al público, diferenciarlo de los demás centros comerciales a nivel local o nacional. En lo anterior trabaja el arquitecto junto a su grupo de desarrolladores para evaluar en una fecha estimada la propuesta ante el cliente. Todo esto tiene implicaciones sobre los diseños eléctricos, hidráulicos, gas, telecomunicaciones, red contraincendios, recorridos de evacuación y todos los demás que ya se tenían por finalizados y por tanto se requiere un ajuste en cada uno, pues las acometidas a los locales deben modificarse, el aire acondicionado de ciertos espacios comerciales deben evaluarse en función de la nueva área resultante, al igual sucede con el diseñador eléctrico quien deberá valorar nuevamente la capacidad de carga de acuerdo a los ajustes realizados sobre la arquitectura.

Lo anterior solo ejemplifica el nivel de interoperabilidad que debe existir en un proyecto de construcción enmarcado en un centro comercial donde la interacción no se da solo con el cliente, si no con cada uno de los diseñadores responsables donde la capacidad de respuesta que debe existir en virtud de los cambios debe ser alta, pues un día de espera para el cliente es un día que deja de cerrar una negociación. En un caso como este, los métodos tradicionales no dan cabida porque los procesos son lentos, dispersos, propensos a errores y demás.

Por otra parte, las deficiencias de la interoperabilidad y la falta de comunicación han significado para una empresa constructora local, como AIA, “*muchos dolores de cabeza*”, así lo manifiestan Tomas Trujillo Director de diseño y construcción virtual, y Verónica Echeverri vicepresidente de desarrollo de nuevos negocios de la compañía, en el *live* o presentación virtual en directo llamado “El mejor remedio para la incertidumbre en su proyecto inmobiliario y/o de construcción”.

Para AIA los mayores problemas en la ejecución de una edificación se dan por no prestar importancia en entender la planeación antes de la construcción de cualquier proyecto, lo que lleva a la mayoría de ellos (98%) a sufrir un aumento en los costos

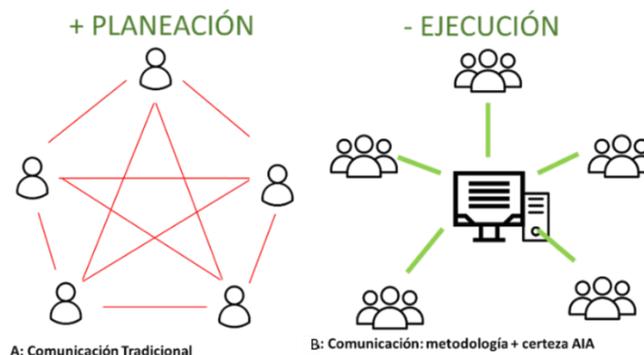
de más del 30%, y al 77% de los proyectos un retraso al menos del 40% de lo estimado (Trujillo y Echeverri, 2020).

La mayor dificultad para AIA, se centra en que el constructor al iniciar un proyecto no tiene el panorama claro (falta de información, deficiencias en los diseños, detalles y demás), lo cual genera muchas dudas que no permite valorar de forma adecuada los costos reales, el alcance y no hay una manera de liderar correctamente el cómo se va a construir, lo que solicita el cliente o lo que se está ideando en el proyecto. La ausencia de planeación no permite construir el panorama completo, y hace que el constructor se tenga que enfrentar a un ejercicio de demasiada incertidumbre en un momento cuando ya no tiene las herramientas, ni cuenta con los recursos, pues a medida que el proyecto evoluciona, este se vuelve más rígido, con pocas capacidades de cambios, y sufren mucho más los presupuestos.

De acuerdo a lo mencionado por Trujillo y Echeverri (2020), la compañía al hacer el ejercicio de comparar el sector de la construcción con otras industrias en relación a lo que se invierte en planeación en el sector constructivo vs. lo que invierten industrias como la aeronáutica o la automotriz, evidenciaron que el sector no llega a invertir ni un 5% del costo total del proyecto en planeación mientras que las industrias mencionadas, es en la planeación la fase que mayor inversión hacen frente a la ejecución por unidad producida. Por tanto, AIA considera que el problema se empieza a tratar de raíz cuando se aumentan los esfuerzos en las etapas iniciales.

Y al respecto, el área de construcción de la compañía tiene un lema o una frase que busca combatir sus dificultades: *“Mas planeación, menos ejecución hace que los dolores de cabeza disminuyan”* (Trujillo y Echeverri, 2020).

Imagen 13: Comunicación tradicional vs la comunicación bajo la metodología + certeza, AIA



Fuente: elaboración propia según modelo de Trujillo y Echeverri, (2020)

El esquema A de la imagen 13, refleja una comunicación tradicional, esa entrada y salida de correos, de enviar y recibir, y de no involucrar a todos los actores o de responder parcialmente hace que se pierda mucha información en la planeación de un proyecto, así lo mencionan Trujillo y Echeverri (2020).

La comunicación intuitiva o sin un orden, esta complejizada para la compañía AIA y en concordancia con la presente investigación, por el incremento en los actores que requieren invocarse en etapas tempranas y que la planeación cada vez esté más lejos del sitio de obra.

*“Un proyecto VIS (Vivienda Interés Social) que significaba sencillo por sus niveles de acabados, hoy en día requiere la aplicación de más normativas, instalaciones de red contraincendios, telecomunicaciones y demás, lo cual hace que las edificaciones ya no sean solo de concreto y acero, que por ende ya no exista solo el ingeniero calculista y el arquitecto, si no muchos otros más actores”.* (Trujillo y Echeverri, 2020)

La falta de herramientas de comunicación ha llevado a un intercambio de información de-sincronizado, lo cual se traslada a la generación de múltiples versiones de un proyecto y a la desvinculación de los actores. El arquitecto trabaja una versión con el cliente, a su vez el arquitecto trabaja en otra versión con el diseñador estructural y así sucesivamente, lo que genera una desincronización en el tiempo en todos los aspectos.

Según Trujillo y Echeverri (2020), la entrada tardía del constructor es tal vez uno de los problemas más grandes que han identificado y es la brecha que existe entre la construcción y el diseño de un proyecto; la forma independiente en la que trabaja el constructor sin conocer cómo se diseñó, y la manera desligada de trabajar el diseñador sin conocer cómo se va a construir, ha significado para AIA un vacío en el conocimiento que no permite que el ciclo se cierre completamente. Pues la compañía, considera un error que el constructor entre al final del proceso, porque el ente constructor puede aportar mucho en la etapa de diseño. Las ideas que pueda aportar el constructor, deben ser incluidas de manera temprana en el producto y que, a su vez, él se pueda llevar de forma clara, el mensaje de cuál es la intención del diseño y todas sus restricciones.

Las dificultades mencionadas han sido el impulso para que la compañía constructora local AIA, haya dejado de lado los procesos tradicionales, e involucre el primer ingrediente de la metodología con la que vienen trabajando hace ya varios años (Trujillo y Echeverri, 2020). BIM para la empresa se ha convertido en el “corazón” de todos los procesos que les ayuda a gestionar la información y la

comunicación con todos los actores y a darle orden al caos que se tenía anteriormente (esquema B de la imagen 13).

Basados en la filosofía de *Lean Construction* o construcción sin pérdidas, junto al uso de la metodología BIM, AIA ha logrado cambiar y mejorar el panorama que antes se tenía nublado respecto a este tema de la planeación y la comunicación (interna y externa) (Trujillo y Echeverri, 2020), esto además les ha permitido hacer una adecuada transición entre la etapa de diseño y la etapa de construcción antes traumática o con muchos vacíos que recaían en el constructor.

Esta mezcla de metodologías a la que llaman “+ certeza” para la pre-construcción se enfoca en reinventar el flujo de información, vincular los actores importantes a la hora de tomar decisiones, y completar la mesa que anteriormente veían incompleta en un comité, donde, solo asistía el arquitecto, y el ingeniero, o solo el cliente y el arquitecto, lo cual no les permitía tener la imagen clara del proyecto. Las herramientas BIM precisamente han jugado un papel fundamental en ese proceso, plataformas como Revit, la documentación y trabajo en la nube con BIM 360, le ha permitido integrar a todos los actores, aunque Trujillo y Echeverri (2020), mencionan que las herramientas no son lo principal, ya que, si bien hoy apoyan sus labores en plataformas como las mencionadas, mañana podrían ser otras. Lo importante es tener una metodología clara de trabajo y unas políticas organizacionales que les permitan cumplir los objetivos.

### **1.4.3 Aspectos humanos de la interoperabilidad y su impacto en la comunicación y gestión del proyecto**

En el proceso de diseño de un proyecto de edificación, que envuelve diversos actores ya sean clientes, diseñadores, técnicos especialistas, interventores, constructores, inversionistas, firmas de abogados y demás, los aspectos humanos y los entornos organizacionales juegan un papel fundamental para lograr la cooperación dentro del marco de colaboración que rodea al ambiente común de trabajo.

Los diversos niveles de conocimiento, las diferentes formaciones profesionales, los arraigos culturales, los propósitos e intereses particulares de los individuos, hacen de la colaboración en la construcción una situación compleja que además impacta sobre la comunicación e interoperabilidad dentro de los entornos de trabajo. Y esto, hace precisamente de la colaboración en la construcción un entorno diferente a cualquier otro campo, como la medicina, por ejemplo, donde todos los

colaboradores comparten la misma formación y el mismo ambiente espacial laboral (Mourshed, 2006).

La sinergia que se produce entre los grupos de trabajo depende de la eficacia con la que puedan comunicar e intercambiar la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto (Mourshed, 2006). Sin embargo, esto está sujeto a muchos factores de comportamientos humanos que afectan el trabajo colaborativo y las relaciones: la confianza, la preocupación por empatizar, el incentivo, el ego, la tensión, etc. Muchos de los aspectos anteriores llevan a una falta de voluntad en los participantes para compartir información del proyecto con los demás, y esto es considerado como uno de los mayores factores que contribuyen al fracaso del trabajo colaborativo (Xue, Shen y Ren, 2010), que finalmente desenlaza en muchos de los problemas mencionados anteriormente: sobrecostos, retrasos, errores, deterioro de la calidad y disputas (Mourshed, 2006), donde finalmente el proyecto y el cliente son los mayores perjudicados.

Por ejemplo, la pérdida de confianza hace que las personas se rehúsen a trabajar juntas, o falten a reuniones, dejen de copiar e-mails, o pasen por alto cualquier decisión o aporte que otra persona del equipo genere. Según Xue et al. (2010), la confianza y los incentivos son identificados como los principales factores de comportamiento que pueden afectar positivamente en la colaboración de proyectos de construcción.

De acuerdo a lo mencionado, la buena comunicación e interoperabilidad depende en gran medida de los aspectos y las acciones humanas que están determinadas por un conjunto de variables que se ven enfrentadas al momento de colaborar entre las partes. Muchos de estos aspectos, están sujetos a una falta de formación desde la academia o quizás vallan más allá, desde la formación personal, probablemente.

De igual manera, las compañías tienen gran responsabilidad. De acuerdo con Palacios (2006), las características de la situación del trabajo o de las organizaciones proporcionan aspectos claves que pueden despertar determinadas tendencias del comportamiento en las personas, las circunstancias pueden señalar al individuo en algunas conductas enfocados hacia el trabajo que pueden conducirlo a la satisfacción de sus necesidades.

### **La cultura organizacional**

Los tiempos vienen cambiando de manera vertiginosa y las organizaciones requieren de una evolución para adaptarse a las condiciones del mercado. Las tendencias de la globalización de macro-mercados y los micro-cambios en la gestión de las empresas han hecho que surjan cultura empresarial colaborativas, actitudes y formas de trabajo estratégicas en la industria de la construcción (Senaratne y Ruwanpura, 2016).

De hecho, los grandes logros a nivel empresarial, son por lo general el resultado de todo el trabajo en equipo que estimulan el talento humano por encima, incluso, de los procesos, y esto ha llevado al éxito e innovación de grandes compañías que aunque se salen un poco del contexto de la presente investigación es preciso mencionar, casos como Pixar, Netflix, Alibaba, Airbnb y otras que tienen como denominador común haber superado paradigmas de sus industrias, vieron que debían organizar las dinámicas y prácticas internas para alcanzar las metas ambiciosas que se propusieron (Bruce, 2018).

Y si bien, la comunicación en la industria de la construcción es la acción de relaciones personales e interorganizacionales que tienen prácticas y culturas diferentes, es preciso pensar, que para lograr el éxito de la comunicación e interoperabilidad en todo el sector hay que iniciar mejoras en las practicas propias de cada compañía para luego ser trasladada a un ambiente laboral más amplio.

Un caso exitoso en relación a lo anterior puede ser Whole Food, una compañía sin precedentes en el impacto que ha causado en la forma como se alimentan los estadounidenses, y no solo eso, sino que también el impacto que ha ocasionado sus políticas empresariales, que ha revolucionado cualquier estructura organizacional jerárquica de las compañías tradicionales. La empresa dentro de sus políticas cree que las personas son seres sociales por naturaleza y que se sienten mucho más a gusto cuando los hacen sentir parte de un grupo. Y eso sin duda fomenta la colaboración en los miembros del equipo, aumenta los estímulos, la confianza, el sentido de pertenencia y hace que cada uno se sienta más apropiado de sus labores, lo cual hace crecer el trabajo en equipo (Bruce, 2018).

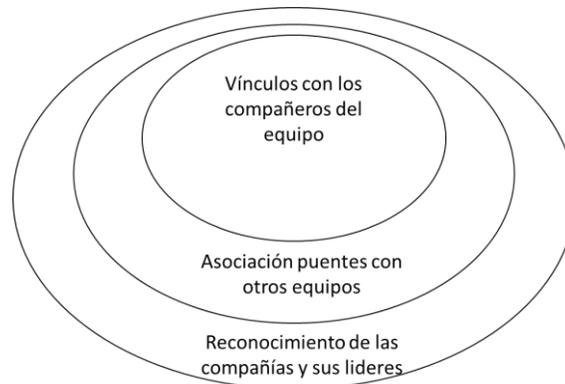
Pues para Whole Food, la estructura de un equipo bien diseñado busca aprovechar fuentes de sinergia que de otra manera permanecerían dormidas, de forma que el todo se vuelva más grande que las sumas de las partes. La cultura de los equipos

de trabajo, de compartir y colaborar no es solo fundamentalmente gratificante, si no también es esencial para lograr la excelencia y el éxito de los objetivos. En Whole Food cada miembro de un equipo opina sin temor a equivocarse, es escuchado e involucrado en la toma de decisiones, y esto hace que las personas tengan mayor autonomía para enfrentar cierto proceso (Bruce, 2018). Las figuras jerárquicas empiezan a “desaparecer” y aquí los grupos de trabajo inician a tomar mucha más fuerza, lo cual eleva el rendimiento, la eficiencia y la calidad del producto final.

Si bien el caso de Whole Food corresponde a un campo fuera de la industria de la construcción, no por eso se puede dejar de lado el caso de prácticas laborales como estas, que pueden ser trasladadas y adoptadas en las organizaciones pertenecientes a al sector de la construcción.

Fomentar las buenas actitudes humanas favorecerá las relaciones con los externos con quienes se colabora. La estructura organizacional, según Senaratne y Ruwanpura (2016), debe permitir una comunicación en todos los sentidos (arriba, abajo, a un extremo y al otro) pero precisamente esto es lo que no permite una estructura jerárquica tradicional, ya que la comunicación solo suele darse de manera horizontal, entre los mismos rangos y cargos laborales y no entre el subordinado y los altos mandos, o en casos cuando la comunicación es hacia arriba, solo se da con el superior inmediato. Sin embargo, en un entorno común donde participan diferentes actores del campo de la construcción, la comunicación más fluida puede estar entre el gerente de la compañía “x” y el colaborador de la compañía “y”, sin intermediarios. Pero esto generalmente no se da por asuntos culturales o de procedimiento tradicionales, en ese sentido también se puede pensar que este tipo de estructuras y de modelos de comunicación ya no son funcionales, se requieren cambios que fomenten el trabajo en equipo, la colaboración entre las partes, y esto con seguridad será trasladado a un entorno amplio de trabajo, donde todas las compañías se junten para desarrollar un objetivo en común.

*Imagen 14: Clases de capital humano*



*Fuente : Bruce (2018)*

El esquema de clases de capital humano que refleja la imagen 14, tiene una alta conexión y fomentación de la asociación entre diferentes equipos de trabajo, lo cual es logrado a través de la potencialización de los vínculos con los compañeros del entorno laboral, es decir, al estrechar las relaciones se crea un sentido de comunidad que fortalecerá las relaciones con los externos. Ahora hay que tener presente que con quien se colabora, posiblemente no tenga el mismo nivel cultural en lo que a la colaboración se refiere, y esto llevara a la necesidad de invertir en la relación, persuadir, tratar de compaginar con el otro, etc.

En la industria de la construcción también se identifican esfuerzos por disminuir la fragmentación existente, y potencializar el trabajo colaborativo en las organizaciones. Hace ya algunos años se vienen adoptando métodos ágiles para sufragar las dificultades que presentan las formas tradicionales. Las metodologías ágiles, se centran en las personas y en la comunicación que se establece entre ellas, por medio de interacciones a corto plazo (Sánchez et al., 2014). Uno de los métodos ágiles mejor adaptadas a la fase de diseño de una edificación es Scrum, el cual ofrece estrategias orientadas a la entrega temprana de resultados tangibles, y a la respuesta ágil y flexible necesaria para trabajar en entornos inestables (Sánchez et al., 2014).

Los entornos inestables hacen referencia a las variables y a la inestabilidad que puede tener un proyecto de construcción contemporáneo, donde las exigencias del cliente son totalmente cambiantes e impredecibles, aunque no solo eso, la inestabilidad también está dada por la capacidad de comercialización de un proyecto, como ya se señaló.

El método Scrum, busca cambiar las costumbres organizacionales a partir de las buenas prácticas, fomentar el trabajo colaborativo, valorando a los individuos y su interacción en mayor medida que a los procesos y las herramientas, de hecho, los procesos deben adaptasen a los equipos y a las personas y no al contrario (Sánchez et al., 2014)

El uso de este método ágil en una organización de la construcción ayudará a fortalecer y crear lazos colaborativos que no permiten los métodos tradicionales de trabajo; los esquemas organizacionales deben evolucionar de tal forma que permitan la integración, y Scrum podría potencializar esos nuevos ambientes de laborales, donde los miembros del equipo colaboren de forma abierta según sus capacidades y no según su rol o puesto de trabajo. Y seguro esto también podrá ser un complemento a otro tipo de metodologías, como IPD y BIM, foco de esta investigación, como la mayor solución a las dificultades de la comunicación e interoperabilidad en la industria de la construcción.

Lo cierto es que BIM, por sí misma difícilmente logre cambiar las culturas organizacionales, de hecho, esta es una de las mayores dificultades para adoptar BIM en el país y en el mundo.

Otro aspecto que se desprende de estas interrelaciones, se fundamenta en la afirmación de Bernstein “*La evolución de la implementación de BIM viene en paralelo con la voluntad de colaborar y compartir información del proyecto, el movimiento hacia la práctica integrada de la que se habla tanto en la industria*” (Bernstein, 2006). En esta se evidencia que para la implementación del BIM hace falta más voluntad que talento.

Y por ello, se plantean estrategias y métodos que puedan compaginar con BIM para lograr el éxito de su implementación y maximizar los beneficios que la metodología ofrece; es por eso que diferentes tesis y artículos proponen una relación entre BIM y el método de entrega IPD (Azhar, Khalfan y Maqsood, 2012; Barreto, 2020; Cardona, 2017), ya que independientemente de los entornos de las investigaciones la finalidad y los objetivos son los mismo: lograr una entrega integrada del proyecto y combatir las dificultades de los métodos tradicionales de entrega y de gestión, que en definitiva se originan en las malas prácticas organizacionales y los problemas de comunicación e interoperabilidad por acciones humanas que no logran compaginar dentro de un entorno de colaboración tan complejo como el de la construcción.

#### **1.4.4 Aspectos técnicos de la interoperabilidad y retos a resolver**

Los aspectos técnicos de la interoperabilidad tienen en cuenta las características de la tecnología empleada por las distintas organizaciones y busca la compatibilidad entre los elementos de la misma (Cabellos y Gallego, 2019). Por tanto, esta cubre las cuestiones técnicas relacionadas a hardware, software, telecomunicaciones y demás desarrollos tecnológicos necesarias para interconectar sistemas computacionales y servicios informáticos, incluyendo aspectos claves como interfaces abiertas, servicios de interconexión, integración de datos y software intermedio, presentación e intercambio de datos, accesibilidad y servicios de seguridad (H. González, 2009).

En este ámbito de interoperabilidad se requieren de las estrategias tomadas por las organizaciones, en función de la elección del software, definición de estándares de comunicación y metodologías que hagan efectiva y eficiente la colaboración entre las empresas y los profesionales que operan y producen su información haciendo uso de herramientas tecnológicas.

En este caso las habilidades que tengan las compañías de seleccionar las herramientas que cubran las labores productivas juega un papel fundamental, pues estas deben estar alineadas a los propósitos organizacionales que satisfagan la colaboración externa, lo cual aumentara su competitividad y la capacidad de comunicación con las demás empresas con quienes colabora.

En un proceso habitual de diseño en el que participan múltiples actores, como bien se ha mencionado, la interoperabilidad que existente entre las herramientas tecnológicas puede marcar un alto grado de eficiencia y efectividad en los procesos.

Las dificultades de la comunicación entre los profesionales y las organizaciones son atribuidas a la falta de interoperabilidad entre las aplicaciones, situación que conlleva a costos adicionales por una serie de tareas resultantes de los inadecuados procesos; entre los que destacan los costos relacionados a la reconstrucción de la información recibida, datos y esfuerzos replicados entre las organizaciones, que finalmente desenlazan en un tiempo adicional sobre las actividades realizadas y por ende a un aplazamiento de la entrega final del proyecto, sin mencionar los costos producidos por los errores y la mal interpretación de la información, así como el nivel de compromiso que se adquiere al incidir sobre ciertas tareas que no son de responsabilidades propias.

Pensando nuevamente en el proceso de diseño, en especial en los inicios de una idea arquitectónica, en esta fase se toman decisiones importantes sobre la viabilidad, el rendimiento y los costos de un proyecto, y para dar respuesta a ello entran en juego una variedad de herramientas que deben ser usadas para evaluar cada aspecto, además se requiere de la retroalimentación de cada uno de los participantes, que ocasionalmente se da a partir del envío de la información en el mismo software de creación, allí, el receptor debe contar con las herramientas necesarias que le permitan abrir el archivo recibido, leerlo e interpretarlo para dar la respuesta a esa retroalimentación que se espera.

Ahora, si el arquitecto inicia sus esquemas y desarrollos volumétricos en una herramienta como Sketchup o 3ds max, plataformas de modelado que le permiten desarrollar una idea conceptual, renderizar y exportar imágenes para presentar a su cliente todo marcharía bien hasta este punto, pues las imágenes y un modelo 3D le van a permitir al propietario entender la generalidad de la propuesta, en aspectos espaciales, materialidades y demás conceptos con los que pueda tomar una decisión en relación a lo que se presenta. Pero a medida que va evolucionando el proyecto y existe una concertación con el cliente, el arquitecto va a requerir más que un modelo 3D de Sketchup o 3ds max para iniciar un proceso de comunicación con otras disciplinas. Pues desafortunadamente, ninguno de estos programas contiene el rango de funcionalidades con las que se pueda abarcar las generalidades de un proyecto.

Si bien, al despacho de arquitectura las herramientas mencionadas le permiten tener una comunicación con el cliente, con seguridad no va generar el mismo efecto con otra especialidad, como el ingeniero estructural, por ejemplo. Pues la información que pueda contener el modelo 3D (materialidades, geometría 3D, definiciones de espacios, etc) no le va ser útil al ingeniero, porque no va poder procesar la información, leerla, analizarla y demás. Por consiguiente, el arquitecto deberá dibujar nuevamente el proyecto en un software como AutoCAD, aun cuando ya tiene un modelo que cumple con las expectativas iniciales de su cliente, pero le es necesario para entablar una coordinación con quien le interesa (ingenieros, curadurías, obra, etc.).

En el proceso anterior hay varias situaciones:

- Existe un aumento de esfuerzos por parte del despacho de arquitectura ya que le es necesario dibujar el proyecto 2 veces tan solo por hecho de no poder comunicar la información con el cliente y el especialista bajo un único software.

- El modelo 3D y el plano arquitectónico DWG están totalmente desligados, es decir un cambio hecho en el modelo debe ser ajustado “manualmente” en el plano arquitectónico DWG. No existe una automatización de la información, y esto aumenta más esfuerzos, tiempos de entrega y demás.
- El modelo 3D realizado en Sketchup no permite parametrizar la información, tan solo contiene elementos geométricos que conforman el todo de un esquema arquitectónico. Por tanto, el modelo que podrá estar bien detallado no le va ser útil ni al ingeniero estructural, ni a otra especialidad que requiera de la información arquitectónica como insumo para sus diseños, como puede ser el ingeniero eléctrico, hidrosanitario, u otro. Y mucho menos realizar un análisis preciso de viabilidad económica, estudio energético o análisis estructural, etc.

Por lo anterior, se ha considerado que la adopción generalizada de BIM y el uso de un modelo digital integral a lo largo del ciclo de vida de una edificación es el paso en la dirección correcta para eliminar dichos costos resultantes de la inadecuada interoperabilidad en el campo de la construcción (Eastman et al., 2011).

Pues los modelos de información permiten esa interacción con el cliente y el estructural a su vez, es decir el modelo que ya no se produciría en Sketchup si no en una plataforma BIM va a permitir esa relación inicial con el propietario a través del modelo 3D, bajo el cual se tomen las decisiones necesarias. Pero al mismo tiempo, el modelo va permitir una comunicación con otras disciplinas en aras de realizar evaluaciones desde fases muy tempranas como rendimiento energético, bioclimático y demás estudio que se requieran. Todo esto bajo una única fuente de información.

En ese sentido las herramientas BIM juegan un papel importante en la actualidad, ya que el modelo paramétrico permite automatizar la información, al mismo tiempo generar un mayor grado de capacidad de respuesta a las diferentes propuestas de diseño que se requieran realizar. El hecho de automatizar la información y contener una única fuente de datos permite dar respuestas ágiles, ya que los cambios se realizan sobre el modelo y de forma automática se actualizan en otra serie de planos y documentos que deben ser emitidos en función de cualquier requerimiento, como, planos generales, secciones, alzados, incluso cuadros de áreas que están amarrados al mismo modelo. Esto sin duda reduce los tiempos y permite entregar una información consistente ya que todo es el resultado de un único cambio.

Además de lo anterior, con BIM es posible realizar una coordinación más ágil del proyecto, pues todos trabajando sobre una información centralizada ya sea en una aplicación en la nube como BIM 360 o mediante un servidor físico, la comunicación es más fluida y clara, lo cual aumenta no solo la capacidad de respuesta del proyecto arquitectónico sino también la de cada uno de los diseñadores, de forma coherente, lo que permite una entrega integrada del proyecto y elimina las inconsistencias que resultan de un método tradicional. En la actualidad aun cuando muchas oficinas de arquitectura o diferentes usuarios confían en las herramientas de software de modelo 3D, pocas son capaces de interactuar de manera fácil y eficiente con las herramientas de autoría BIM existentes (Eastman et al., 2011). Y la dificultad no está solo con la herramienta de modelado 3D; existen deficiencias y desconocimiento de cómo llevar a cabo una adecuada comunicación a través de modelos de información cuando se desarrollan en software de diferentes casas fabricantes, que por consiguiente llevan a procesos que no son propios de la metodología BIM.

Y aunque existen considerables esfuerzos en el desarrollo de estándares abiertos de interoperabilidad, los cuales operan bajo el concepto OpenBIM, en la actualidad aún existe una dificultad por lograr una entrega integrada del proyecto. Pues los esfuerzos para la interoperabilidad han sido muy centrados en aspectos de sistemas informáticos, sin embargo, Grilo y Jardim-Goncalves (2010), considera que la dificultad de la interoperabilidad va más allá de arquitectura de los sistemas, se requieren de condiciones humanas para lograr la interoperabilidad con éxito.

Colombia particularmente, también se ve enfrentada a estos nuevos retos considerando que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio pretende a partir de la expedición del decreto 0441 del 01 de septiembre de 2020 atender los tramites y procedimientos por medios electrónicos. Bajo este decreto (Ministerio de vivienda, 2020):

*“se fijan los lineamientos para los curadores urbanos y las autoridades municipales o distritales competentes, encargadas del estudio, trámite y expedición de licencias urbanísticas, participantes o interesadas en participar en el plan piloto para la expedición de licencias de construcción en la modalidad de obra nueva a través de medios electrónicos”. (p,1)*

Y esto marca el camino de lo anteriormente mencionado (subcapítulo 1.2), en relación al cambio metodológico de las revisiones normativas por parte de las curadurías urbanas y las expediciones de licencias constructivas. Pues el documento a través de numeral 3 del artículo 147 de la Ley 1955 de 2019, para la

transformación digital reconoce incorporar la interoperabilidad de los sistemas de información, así: *“3. Plena interoperabilidad entre los sistemas de información públicos que garantice el suministro e intercambio de la información de manera ágil y eficiente a través de una plataforma de interoperabilidad. Se habilita de forma plena, permanente y en tiempo real cuando se requiera, el intercambio de información de forma electrónica en los estándares definidos por el Ministerio TIC, entre entidades públicas. Dando cumplimiento a la protección de datos personales y salvaguarda de la información”.* (p,3)

Por lo cual, pretende que cualquier interesado podrá entregar, de manera óptima, un modelo de Información (BIM) del proyecto en formato IFC, haciendo uso de la metodología BIM, lo que en efecto establece un desafío importante para la industria y de lo cual se reconoce que el concepto OpenBIM y el uso de formatos abierto es el camino indicado para lograr la interoperabilidad tecnológica a partir de las necesidades de la industria y del estado en este caso puntual.

Sin embargo, es importante considerar que mientras no existan políticas claras y normativas en el país que estandaricen los métodos de trabajo alrededor de BIM, difícilmente se lograra dar la interoperabilidad que se busca. Aunque se reconocen los beneficios de la metodología en cuanto a la colaboración y la comunicación a través del uso de las nuevas herramientas BIM, las organizaciones no solo deben abordar los problemas tecnológicos de los sistemas de conexión y aplicaciones, si no también lograr los enlaces entre los procesos de negocio, que permiten o dificultan el establecimiento de los vínculos técnicos, junto con la capacidad de los valores y la cultura de confianza de los empleados, las expectativas mutuas y la colaboración que debe ser apoyada por acuerdos contractuales que definan los procesos de comunicación (Grilo y Jardim-Goncalves,2010).

# CAPÍTULO 2: GESTIÓN INFORMÁTICA DE LA INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN

*“En una economía global en la que los cambios suceden de manera vertiginosa, la capacidad de adaptación a los nuevos tiempos debe ser prioritario para la evolución de la industria. Existe una necesidad cada vez más creciente, de digitalizar el flujo de trabajo en los procesos constructivos” (Prieto y Reyes, 2014, p. 36).*

Aunque se ha hablado suficiente de BIM en el capítulo anterior, aun no se ha precisado en su definición, ni como esta metodología logra impactar en la comunicación interdisciplinar en la industria de la construcción.

El capítulo 2 presenta a BIM como una metodología de trabajo que nace para hacer frente a los problemas relacionados con la integración de la información y la interoperabilidad en el campo de la construcción. Pues, diferentes investigaciones ponen en relieve el papel de BIM como el facilitador del trabajo colaborativo, de la interoperabilidad y la comunicación, lo que significa el futuro para la industria de la construcción.

El uso de modelos de información como medio de comunicación entre las partes interesadas de un proyecto arquitectónico ofrece diferentes beneficios, que se presentan como una oportunidad tangencial para el sector. La gestión automatizada de la información basada en modelos 3D permiten disminuir la incertidumbre que resultan de los métodos tradicionales, aumentar la eficiencia, y mejorar la comunicación tanto con el cliente como con las demás disciplinas que intervienen en el diseño de edificación.

## **2.1 Building Information Modeling – BIM como respuesta a problemas asociados con la gestión de la información**

### **2.1.1 Definición y concepto**

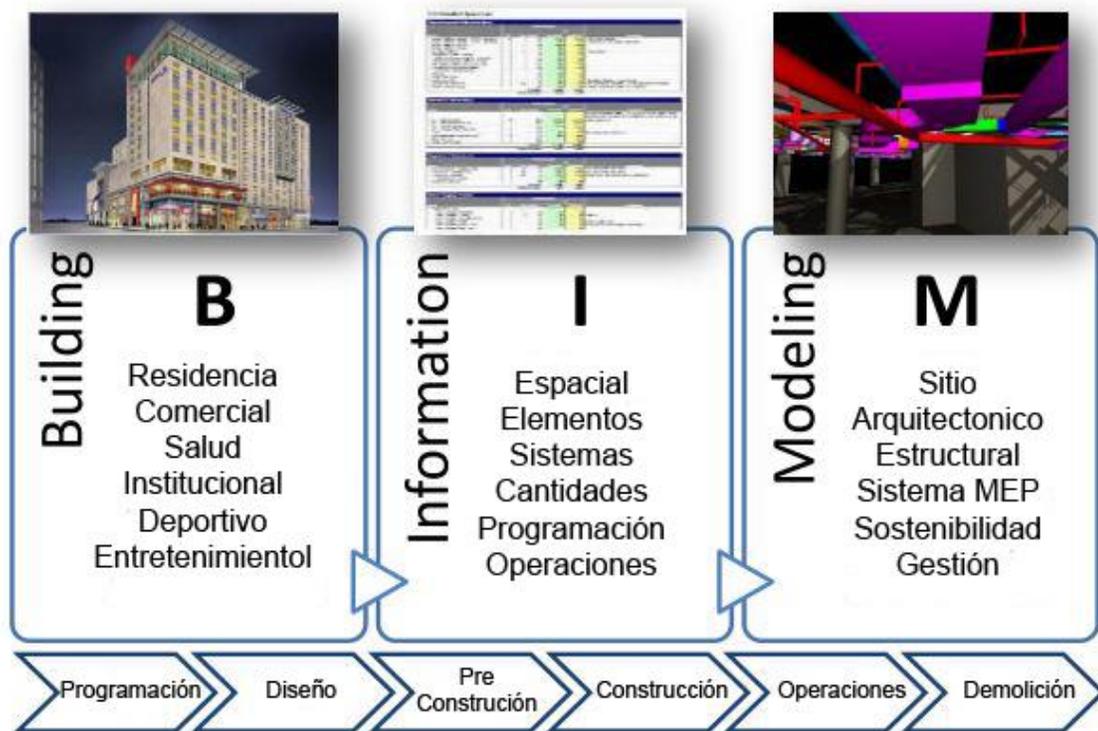
BIM es el acrónimo de *Building Information Modeling*, una terminología que en español significa Modelo de Información de Construcción, y aunque parezca simple, su definición engloba un concepto, que va más allá de un simple modelo 3D que puede ser usado para visualizar gráfica y espacialmente una idea arquitectónica, y mucho más lejos del uso de una herramienta tecnológica como suele interpretarse.

De hecho, BIM se refiere a una metodología de trabajo colaborativa (es allí donde está su verdadero potencial) que integra a toda la cadena de valor (clientes, diseñadores, constructores, contratistas, subcontratistas, fabricantes, operarios y demás) a través de todo el ciclo de vida de una edificación, lo cual permite una entrega integrada del proyecto, tal como lo menciona Eastman et al., (2011). Su finalidad es hacer frente a los problemas de integración de la información y la interoperabilidad. Hoy en día los modelos de información prometen ser los facilitadores de la comunicación y la colaboración que aportaran en gran medida al futuro de la industria de la construcción (Isikdag y Underwood, 2010)

Con el uso de la metodología BIM se construye a través de avanzadas herramientas tecnológicas un modelo virtual rico en información que contiene todas las características técnico-espaciales del entorno construido, es así, como un modelo de información puede considerarse también como la copia virtual o la “doble construcción” de una edificación.

Las iniciales de BIM también pueden aludir a aspectos específicos, tal como lo refleja la imagen 15. La cual muestra a partir de la segregación de su abreviatura, ciertos atributos que al unificarlos da como resultado todo el contenido que una edificación puede tener, en términos de uso, aspectos físicos y funcionales, y por supuesto una de sus características más importantes, la información, que será útil no solo en el proceso de diseño, evaluación económica, construcción, sino también en la pos-construcción o en la operación de la edificación, pues la información contenida en el modelo paramétrico ayudará a prevenir cualquier aspecto relacionado al mantenimiento.

Imagen 15: Representación visual del concepto BIM



Fuente: Tomado y traducido de Azhar et al. (2012)

El modelo ayuda a los arquitectos, ingenieros y constructores a identificar lo que se va a construir en un entorno simulado, para identificar de manera oportuna cualquier anomalía presente en el proyecto. Por tanto, BIM representa un nuevo acercamiento al diseño, construcción y gestión de los edificios, lo que además favorece a la integración de las funciones de todas las partes integradas en el proyecto (Martin, GonzalesdeChaves y Roldan 2014).

En ese sentido, es posible retomar la definición mencionada por Azhar et al. (2012), quien describe a BIM como un proceso virtual que abarca todos los aspectos, disciplinas y sistemas de una instalación dentro de un único modelo, virtual, que permite a todos los miembros del equipo (propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas y proveedores) desarrollar un proyecto de manera colaborativa bajo un proceso más preciso y eficiente que los métodos tradicionales.

Por lo tanto, es posible afirmar que BIM se trata de una metodología de trabajo multidisciplinar que contribuye a la integración de los actores que intervienen en un proceso constructivo. El cual, se basa en dos pilares fundamentales, comunicación y colaboración y cuya implementación exitosa requiere de la participación temprana

de todos los interesados (Azhar et al. 2012). Situación que contribuye y posiciona a BIM como la metodología que más aporta a las soluciones de los problemas relacionados con la fragmentación y la falta de comunicación e interoperabilidad en el campo de la construcción.

### **2.1.2 Evolución y estado actual de la metodología BIM**

Hablar de BIM y de su evolución, requiere exaltar el impacto que tuvieron los avances computacionales y el modelado paramétrico en la arquitectura a lo largo de los años, pues la utilidad de estos, ha radicado en la exploración de diversos resultados y en la evaluación de diferentes alternativas que han ayudado a la toma de decisiones importantes a cada una de las partes involucradas en un proceso constructivo (Davis, 2013). A su vez, la computarización y la industrialización de la construcción ha permitido automatizar, mecanizar y digitalizar acciones manuales de dibujo y de producción de cada uno de los diseños de un entorno de edificación, lo cual, sin duda ha aumentado el rendimiento y la productividad del sector (Herrera, 2010).

Si bien, el termino paramétrico se origina en los métodos matemáticos y ha hecho parte de los procesos análogos empleados por arquitectos e ingenieros como Antoni Gaudí, Frei Otto y algunos más de siglos anteriores, fue solo hasta la “era de la computadora” que el modelado paramétrico tuvo un impacto significativo en las prácticas del diseño, pues la digitalización de la computación facilitó los cálculos imposibles de los modelos analíticos producidos por los personajes antes mencionados.

La década de 1960 y 1970 fue un periodo de revolución desde la informática (Davis, 2013), el diseño asistido por computador CAD acrónimo de su nombre en inglés (*Computer-Aided Design*) y la creación del primer programa paramétrico, Sketchpad (cuaderno de boceto en inglés) desarrollado por Ivan Sutherland en 1963, han asentado las bases de lo que hoy se conoce como sistemas gráficos interactivos por ordenador (Pérez de Lama Halcón et al., 2012).

Sin embargo, hablar de transformación digital, se puede iniciar a partir de la década de 1980-1990 cuando empieza la distribución global de los sistemas informáticos, a partir de la creación de AutoCAD, software de dibujo técnico que pretendía llegar a los consumidores a un precio reducido, el cual ha sido por mucho tiempo, incluso en la actualidad el programa habitual y de uso imprescindible para el desarrollo y producción de la información por parte de los diferentes actores que participan en el desarrollo del proyecto de edificación (Sandoval, 2016). Este programa, por

supuesto, generó un cambio en la manera de dibujar, trabajar y comunicar la información entre cada una de las partes, sin embargo, su uso se ve cada vez más limitado, puesto que se evidencian falencias que problematizan la comunicación y la gestión de la información de un proceso constructivo, lo que resulta de la información des-sincronizada y la generación de múltiples archivos y versiones.

Pese a lo anterior, solo 18 versiones más adelante del programa (Autocad versión 2010) se introdujo en este software funcionalidades paramétricas ( 47 años después de la creación de Sketchpad) y se promocionó en un comunicado de prensa como “*una nueva capacidad innovadora*” (Davis, 2013).

No obstante, la posibilidad de modelar paramétricamente ya se veía desde muchos años atrás en programas convencionales de la ingeniería mecánica, principalmente. El software como Pro/ENGINEER (1988), fue el primer modelador paramétrico exitosamente comercial, que permitía a los usuarios asociar partes de la geometría de Pro/ ENGINEER usando varias ecuaciones paramétricas. En este a diferencia de Sketchpad, la geometría era tridimensional en lugar de bidimensional y los cambios podían propagarse sobre muchos dibujos diferentes creados por los diversos usuarios (Davis, 2013).

Según Davis (2013), durante una entrevista con el exprofesor de matemáticas y fundador de *Parametric Technology Corporation*, Samuel Geisberg, expresó la motivación de la creación de una herramienta como Pro/ ENGINEER, mencionando lo siguiente:

*“El objetivo es crear un sistema que sea lo suficientemente flexible como para alentar al ingeniero a considerar fácilmente una variedad de diseño. Y el costo de realizar cambios de diseño debería ser el más cercano a cero posible. Además, el software CAD/CAM tradicional de la época restringió la manera poco realista los cambios de bajo costo solo al frente del proceso de diseño e ingeniería”. (p. 9)*

Lo anterior, y otros programas como CATIA (*Computer Aided Three Dimensional Interactive Appliation*), ampliamente empleado en la industria aeronáutica, han tenido un papel significativo no solo en generar o diseñar una edificación, sino también en la manera de gestionar y comunicar la información de una construcción a lo largo de su ciclo de vida, pues las bases de lo que se presenta a groso modo de estas plataformas es el pilar de los software actuales de modelado paramétrico (Revit, Archicad, Allplan, Tekla, etc.) .

Desde hace más de dos décadas Sainz y Valderrama (1992), consideraban al modelado paramétrico como un importante avance para el proyecto asistido por ordenador ya que facilita la asignación automática de unidades de obra a

componentes del modelo, lo cual simplifica el trabajo del delineante, al no necesitar tomar decisiones por adelantado, y permite que otro técnico especializado añada posteriormente la información constructiva más detallada.

En relación a la adopción y uso de estas herramientas desde el campo de la arquitectura, Fran Gehry ha tenido una gran participación, pues las formas complejas que caracterizan sus diseños lo ha llevado a buscar nuevas alternativas que le ayuden a materializar sus ideas. Así pues, el software CATIA, fue la herramienta que le permitiría resolver de manera eficiente y racional, proyectos de arquitectura geoméricamente desafiantes. Los ejemplos más destacados de sus obras en relación a este tema son, el museo “El Pez”, el Disney Concert Hall y el museo de Guggenheim, que se observa en la imagen 16.

*Imagen 16: Museo de Guggenheim, Frank Gehry*



*Fuente: Tomado de <https://www.elindependiente.com/tendencias/2017/10/06/museo-guggenheim-bilbao-cumple-20-anos/>*

En el museo de Guggenheim de Bilbao (1993 – 1997) como en otros proyectos de Gehry, el software CATIA de modelado paramétrico le fue útil para racionalizar la geometría de las superficies para la construcción, tanto de la estructura metálica como la de sus revestimientos. Estos trabajos según Davis (2013), forman la base para que la compañía hermana de Gehry “*Pathers, Gehry Technology*” (incorporada en 2001), lanzara el proyecto de software de modelado paramétrico “*Digital Project*” en el año 2004. Un programa que toma a CATIA y lo envuelve en una herramienta diseñada y dirigida para arquitectos, en particular para aquellos que hacen uso de formas geométricas tan complejas como las de Gehry.

Sin embargo, cuando este software fue lanzado al mercado tan solo algunos estudios de arquitectura iniciaban el remplazo de sus tableros o mesas de dibujo por la computadora personal y hacer uso de herramientas CAD, como el Autocad

de Autodesk, y tan solo un puñado de oficinas de arquitectura desarrollaban geometrías realmente complejas que justificara el uso de *Digital Project*. La mayoría continuaba usando las herramientas 2D para dibujar y coordinar el conjunto de dibujos entre cada uno de los interesados, mientras otros tantos iniciaron a adoptar otro conjunto de herramientas más especializadas para el modelado de edificios como Revit y Archicad que se empezaron a popularizar a partir del año 2000.

De tal forma se dio un desequilibrio en la industria de la construcción, los arquitectos que no requerían producir geometrías complejas continuaban usando herramientas CAD, mientras que otros iniciaban con el uso de herramientas 3D avanzadas. Sectores como la fabricación digital, que requerían de la producción en serie de elementos repetitivos de una edificación como columnas en acero, platinas de refuerzos y demás, profundizaron en el uso de este tipo de herramientas paramétricas.

De hecho, cuenta Hernán Posada, director del área de ingeniería de la empresa de estructuras de acero, Doblamos S.A, que en Colombia el sector metalmecánico fue uno de los primeros segmentos de la industria de la construcción que iniciaron a usar software de modelado paramétrico y tecnología avanzada, y esto debido a la necesidad de agilizar la producción, fabricación y aumentar la productividad que se veía limitada por la ineficiencia del dibujo manual, pues el alto nivel de detalle y la precisión que se requerían plasmar en los dibujos de ingeniería metálica, lo hacía muy riguroso, y además lento, lo cual limitaba la capacidad de respuesta frente al cliente, sin mencionar la cantidad de errores que se daban en los procesos.

Lo anterior, llevó a empresas como Industrias CENO SA de la ciudad de Medellín a implementar tecnología de “punta” y plataformas de modelado paramétrico como BOBCAD el que hoy es remplazado en muchas compañías por Tekla Structure. Así pues, en el año 2000 empresas como la mencionada iniciaron el uso de tecnología de fabricación automatizada, lo que sin duda fue un gran aporte a la industria.

Pese a lo anterior, el termino BIM ni siquiera era mencionado en el país, así lo dice H. Posada (2020), y mientras los ingenieros evolucionaban en el modelado paramétrico y hacían uso de herramientas avanzadas, los arquitectos continuaban usando AutoCAD, y allí inicia esa brecha de la interoperabilidad entre estas disciplinas, el arquitecto enviaba la información en 2D y el ingeniero la reconstruía en 3D para fabricar y desarrollar sus componentes. Un proceso con muchas dificultades dada la falta de precisión y rigor en los dibujos producidos generalmente por los arquitectos.

El termino BIM fue acuñado a nivel internacional en el mismo año en que Industrias Ceno introdujo su herramienta de modelado paramétrico. Desde inicios del año

2000 la aparición en el mercado de una serie de conceptos de realización de modelos de edificación ofrecidos por diferentes proveedores de software CAD, como Autodesk, Bentley y Graphisoft reorientaron el trabajo colaborativo bajo una novedosa metodología a la que se le dio el nombre de *Building Information Modeling* (BIM). Así BIM se convierte en una definición estándar de modelado de información de la construcción al lograr la máxima integración entre las diferentes disciplinas, creando un modelo de objetos paramétricos inteligentes, dando inicio a la aparición masiva de BIM en las empresas de diseño a nivel mundial (Migilinskas et al., 2013).

Durante la última década, la metodología BIM se ha implantado de forma progresiva en diferentes países apoyados e impulsados por gobiernos locales y asociaciones como *BuidingSmart International* (BSI), los cuales han sido conscientes de las ventajas que la metodología ofrece en cuanto ahorros de tiempo y costos en la ejecución del proyecto, así como la eficiencia en la gestión de información durante su desarrollo. La adopción de BIM para algunos países ha sido objetivo prioritario de sus administraciones públicas, las cuales han impuesto o valorado su uso en obras del estado. Según Martin et al. (2014), Estados Unidos, Noruega, Finlandia, Dinamarca, Hong Kong, lideran la implementación de BIM a nivel mundial y su adopción ha alcanzado un alto desarrollo; además, estos mismos, son quienes impulsan la interoperabilidad en los entornos BIM, con el fin de mejorar los procesos de comunicación entre las herramientas a partir de ficheros abiertos que permiten el intercambio de información durante las distintas etapas del proyecto, a través de estándares y guías de estilo.

Aunque la adopción de esta metodología en los países mencionados y demás, se ha establecido de manera adecuada, en otros no ha sido la mejor, ni han contado con el mismo apoyo gubernamental. Lo que continúa siendo un reto importante para la industria, en la medida que se busque generar una construcción bajo métodos más eficientes que reduzcan tiempos y costos en todos los procesos.

### **2.1.2.1 La evolución de la metodología BIM en Colombia**

La industria de la construcción en Colombia se enfrenta a diversas dificultades: la fragmentación de los actores involucrados en los proyectos, la fragmentación en las etapas, la poca inversión en investigación y desarrollo, la baja adopción de las TICs, la poca preparación del capital humano, así como la adición de tiempos y sobrecostos en la construcción de proyectos de edificación, resultando en baja calidad y disminución de la productividad del sector. Estos problemas pueden atribuirse al hecho de que las prácticas tradicionales ya no son adecuadas para el desarrollo del proyectos complejos (Gómez et al., 2016).

Los métodos actuales de desarrollo de proyectos de construcción en Colombia siguen siendo muy fragmentados, la integración de diversas empresas, diseños multidisciplinarios provocan constantes interferencias que conllevan a una cantidad significativa de reprocesos y retrabajos, lo que provoca ese aumento de tiempo para la entrega final del inmueble. El flujo de trabajo en la industria de la construcción tiene todavía una falta de integración entre los equipos de trabajo, lo que afecta con frecuencia al proyecto, provocando un alto grado de ineficiencia, disputas frecuentes entre los actores y falta de innovación. Por lo tanto, la información que conlleva a la construcción de los proyectos es a menudo difícil de generar, transmitir, reutilizar y coordinar, producto de las malas prácticas de gestión (Gómez et al., 2016). Los problemas derivados de malos procesos tradicionales han llevado a la industria de la construcción en Colombia a optar por nuevas metodologías y herramientas de trabajo que disminuyan la incertidumbre en los diferentes procesos del ciclo de vida de la edificación, además de integrar los actores responsables, siendo esta última una de las mayores problemáticas actualmente. Por tanto, los profesionales de AEC en Colombia están siendo seducidos por las ventajas que ofrece BIM (Botero, Isaza y Vázquez, 2015).

Como bien lo menciona Forero, Gutierrez-Bucheli y Ponz-Tienda (2019), Colombia no ha sido ajena a la adopción de la metodología BIM, aunque su aceptación ha sido modesta comparada con otros países desarrollados (como algunos de los mencionados anteriormente). La implementación de BIM en el país se ha venido dando de forma paulatina, impulsado principalmente por empresas privadas las cuales se han atrevido a dar un paso frente al cambio.

Aunque, los resultados de diferentes investigaciones demuestran que la implementación de dicha metodología en Colombia es relativamente baja si se compara con otros países (Botero et al., 2015; Forero et al., 2019; Gómez et al., 2016). Se podría afirmar que el nivel de penetración de BIM en el país podría estar entre nivel 0 y nivel 1 (en un rango de 0 a 3). Sin embargo, se percibe un cambio notable y progresivo del dibujo 2D a modelos de visualización 3D, pero los componentes que aún hace falta por explorar y madurar son: la integración, la plena colaboración y la utilización de formatos abiertos e interoperables, así lo manifiesta Gómez et al. (2016).

Respecto a los indicadores de BIM en Colombia, tan solo hasta el año 2015 se reportan algunos estudios, como el del Grupo de Investigación en Gestión de la Construcción (GESCON) de la Universidad EAFIT, interesados en difundir la aplicación de la metodología BIM realizaron una encuesta con el objetivo de conocer la opinión de los profesionales acerca de las prácticas bajo modelos de información en el país. Esta fue dirigida a 1.270 profesionales del área de la construcción de

diferentes regiones, edades, profesiones y experiencias, por medio electrónico. De las cuales 132 fueron diligenciadas completamente siendo objeto para determinar las conclusiones. Entre los resultados más relevantes obtenidos, el 94% de los encuestados considera que tarde o temprano los modelos BIM será una práctica generalizada en Colombia, ya que los mismos manifestaron que los métodos que ofrece BIM permiten la toma de decisiones importantes que inciden significativamente en el resultado final de los proyectos (Botero et al., 2015). El estudio, además revela que el 18% de los encuestados usan siempre o frecuentemente modelos de información BIM para el desarrollo de proyectos. Lo que determina una tímida adopción de la metodología para el mismo año en el país.

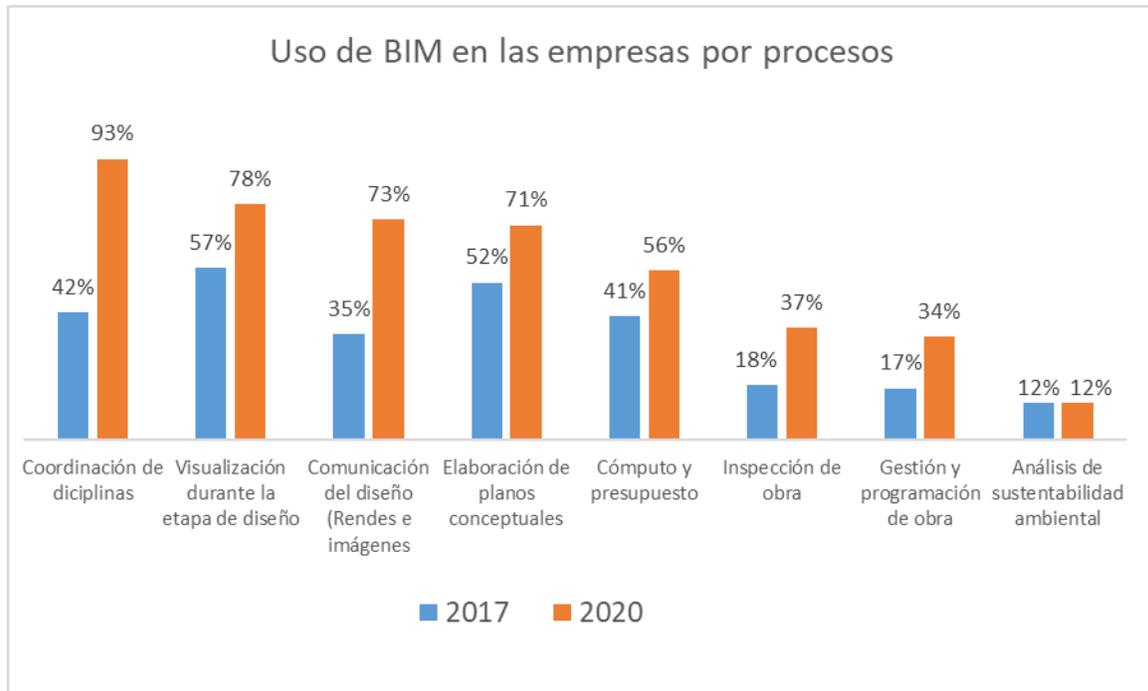
Por otra parte, en el año 2016, se realizó otro estudio por la Universidad de los Andes, titulado "*The status of BIM adoption and implementation experiences of construction companies in Colombia*". El cual se centró en la determinación de éxitos, errores e identificación de los desafíos de la implementación de BIM en Colombia. Para este estudio se realizó una encuesta difundida en la web, dirigida a 500 profesionales del área de la construcción, de las cuales se recibieron 102 respuestas que ayudaron a determinar las conclusiones, además se realizaron siete entrevistas a profundidad sobre el tema. Los resultados de esta investigación indican que la adopción e implementación de BIM en el país continúa siendo muy baja a pesar de que el nivel de conciencia acerca de la metodología es muy alto. El 100% de los encuestados están de acuerdo en que en los próximos 10 años se harán uso continuo de BIM en los proyectos de edificación, además señalan que quienes no lo hagan será por falta de solicitud del cliente (Gómez et al., 2016). La investigación, también revela que al menos el 59% de los encuestados especifica que ha estado involucrado directamente en al menos un proyecto basado en BIM en los últimos años.

Para el año 2018, un estudio de tesis de investigación de la Universidad Pontificia Universidad Javeriana, titulada "Propuesta de un estándar para la implementación de la metodología BIM en Obras de Edificación Financiadas por recursos públicos en Colombia" realizó una encuesta virtual dirigida a profesionales del AEC, con el objetivo de hacer un sondeo del estado de BIM en proyectos de edificación financiados con recursos públicos en Colombia. La divulgación de esta encuesta se realizó por correo electrónico y en grupos de interés de redes sociales. Fueron difundidas en total 478 encuestas, de las cuales se recibieron 276 respuesta. La encuesta comprendió 33 preguntas divididas en 6 secciones de acuerdo al tema de interés (Flórez y García, 2018).

Los resultados obtenidos, logró corroborar lo indicado en la investigación de Gómez et al. 2016, logrando determinar que el uso y la implementación de la metodología BIM en el país es muy bajo, sin embargo, el 100% de los encuestados señalaron también estar de acuerdo en que, en los próximos 10 años, la metodología BIM sería usada de manera continua, asimismo, informaron que la falta de uso de este tipo de metodologías se encuentra asociada a que no es solicitada por parte de los clientes. Esta investigación también evidencia que el concepto BIM y su aplicación en proyectos en Colombia están tomando fuerza en el sector privado, impulsado por grandes constructoras del país, como: Amarilo, Colpatria, Construcciones planificadas, al igual que otras empresas constructoras especializadas (Flórez y García, 2018). La encuesta, también revela que al menos el 29% de los encuestados indica ser usuario.

En el mismo año 2018, la presidenta de la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol), destaco que el 40% de las edificaciones nuevas que se desarrollan en Colombia, ya están implementando modelos de información para la construcción (BIM). En la misma línea, el gerente regional del gremio en Antioquia, le manifestó a EL TIEMPO (periódico local) que en el departamento el 43% de los proyectos de vivienda nuevos también implementan este tipo de metodologías (Floréz, 2018).

En el año 2020 se pronuncia nuevamente la presidenta de Camacol, Sandra Forero Ramírez , asegurando a través de los indicadores presentados en el seminario web (*Webinar*) llamado “*Transformación digital para impulsar el sector de la construcción*”, que para el presente año Colombia ha mejorado en los últimos tres años en un 40% en el uso de BIM (Camacol, 2020).

*Imagen 17: La evolución de la metodología BIM en Colombia*

*Fuente Elaboración a partir de la gráfica expuesta por Camacol (2020)*

De acuerdo a lo expuesto por Camacol (2020), la imagen 17 refleja los avances de BIM en las empresas constructoras del país según los usos que cada una de ellas le da a la metodología. En esta se identifica que BIM ha tenido un mayor crecimiento en aquellas actividades que hacen parte de las tareas de diseño; la coordinación de disciplinas, visualización y la comunicación del diseño son las que mayor han crecido desde el año 2017 hasta el 2020. Lo que sin duda demuestra una evolución de BIM en el tiempo, aunque paulatina, como lo mencionan otros estudios, es constante y con altos indicios de crecimiento y demanda.

Probablemente para el año 2025 o 2026 ya no sea una opción, ni el panorama sea el visto en la gráfica anterior, pues el estado y la industria viene apuntando ya hace varios años hacia la digitalización de los procesos de la construcción, tal como lo indica las investigaciones anteriores, y para ello el sector y toda la cadena productiva debe estar preparada, lo cual ratifica la necesidad de interoperar en BIM e implementar el concepto OpenBIM para lograr integrar a todos los actores participantes de un proyecto de construcción, incluyendo los proveedores, operadores y demás. En ese sentido además de BIM el estado debe visualizar estos nuevos métodos de trabajo bajo una lógica que opere de manera transparente y la colaboración en los proyectos se realice sin exclusiones.

### 2.1.2.2 El estado de BIM a nivel local

El estado de adopción de BIM en la ciudad de Medellín no es del todo claro, aunque una encuesta realizada en el año 2018 por la Cámara de Comercio de la ciudad muestra una perspectiva global del estado del arte de BIM en el entorno local, la investigación fue diseñada y dirigida a tres sectores del campo de la construcción: El ámbito público, privado y educativo.

El estudio alcanzo un numero de 155 encuestados y como es de esperarse, se obtuvo una mayor participación del sector privado que del público y educativo. El 74% de los participantes pertenecen al sector privado, el 9.3% al público y 16.7% al sector académico (Camara de Comercio de Medellin para Antioquia, 2018)

La encuesta establece diferentes preguntas frente al conocimiento y habilidades BIM, desde preguntas básicas hasta algunas más detalladas, lo que ofrece un criterio general de conocimientos de los diversos participantes. De acuerdo a los resultados:

El 27.3% de las personas encuestadas desconoce los esquemas más básicos de la metodología BIM, por ende, se podría afirmar que este mismo porcentaje no tiene conocimientos acerca de la metodología. El porcentaje restante menciona conocer de BIM (72.7%), tan solo del 35% al 40% hace usos y entiende de manera clara los aspectos relevantes acerca de la metodología. Lo anterior muestra, que en el entorno local se habla y se conoce de BIM, pero pocos lo ponen en práctica.

Otro resultado importante de la encuesta es la evidencia del inicio de BIM en la contratación pública en el país, especialmente en entorno local. Las respuestas muestran que en 11 contratos públicos se realizan alguna solicitud BIM, lo cual confirma lo mencionado anteriormente.

La investigación también pone sobre la mesa, la preocupación sobre el poco impulso del trabajo colaborativo e interdisciplinar por parte de la academia, siendo esto uno de los mayores enfoques y ventajas que ofrece la metodología BIM, lo que podrá dificultar futuras relaciones en un entorno de trabajo BIM y la interoperabilidad entre herramientas.

Por tanto, la metodología BIM en el entorno local requiere una apertura a escenarios de trabajo interdisciplinario concurrente, y el manejo de distintas herramientas que facilitan la comunicación, distribución y almacenamiento de datos; esto cambia drásticamente la forma de trabajo tradicional y pone a los profesionales en procesos de adaptación que no son sencillos y toman tiempo para ser madurados, sin

embargo las ventajas que ofrece BIM son muchas y deben ser el detonante para el cambio de mentalidad y cultura en la gestión del diseño y construcción de obras en Colombia (Camara de Comercio de Medellin para Antioquia, 2018).

De acuerdo a la investigación anterior, y a las otras mencionadas, es posible tener un amplio panorama del estado del arte de la metodología BIM en Colombia. No obstante, todos los estudios anteriores han dado respuesta a intereses particulares, que no son propios de la presente investigación. Por lo cual, no brindan el apoyo suficiente para caracterizar la problemática planteada en esta tesis. Situación por la cual, se desarrolló la encuesta que antes se ha mencionado en capítulos anteriores, que tuvo como fin, indagar en las dificultades relacionadas a la interoperabilidad en el entorno BIM, con la intención de aportar sobre la problemática planteada en la presente investigación. Para conocer más a fondo los resultados de la encuesta, ver anexo 1.

### **La problemática de la interoperabilidad en el entorno local**

De la encuesta realizada por la presente investigación, se enfatizan los resultados en lo siguiente:

La alta adopción de la metodología BIM por parte del arquitecto, ha provoca un fuerte “arrastre” sobre otras especialidades con las que colabora. A ingenieros eléctricos, hidrosanitarios y demás le ha sido necesario implementar esta nueva metodología para involucrarse a los entornos de trabajo colaborativo.

Mientras que, a otro número de participantes involucrados, la adopción BIM ha sido “exigida” por condiciones contractuales, lo cual provoca una serie de dificultades, como podría ser la falta de conocimientos y la plena conciencia acerca de los objetivos bajo los cuales se pretende abordar BIM en la compañía, y de ese modo hay ciertas limitaciones en los procesos asociados a la colaboración.

Por otra parte, la demanda del mercado ha disminuido la brecha de resistencia al cambio, que es considerada por las investigaciones de Botero et al. (2015) y Gómez et al. (2016), como una de las mayores dificultades en la adopción de BIM en el país. Los diferentes profesionales y empresas constructoras cada vez más comprenden la necesidad de adoptar nuevas metodologías de trabajo para ser competitivos y adaptarse a las demandas actuales del mercado.

Sin embargo, existen malas prácticas asociadas a la implementación de BIM en las empresas constructoras. Las dificultades están relacionadas desde modelos mal desarrollados hasta falta de estándares y protocolos de comunicación. La alta

participación de profesionales jóvenes o de poca experiencia en la adopción y uso de la metodología BIM provoca problemas relacionados a la construcción del modelo, la falta de experiencia en el campo de la construcción y de los procesos constructivos no permite desarrollar modelos fidedignos a lo que podría ser la construcción real, y esto conlleva desfases en el presupuesto, cronogramas inadecuados y demás.

Asimismo, la poca destreza en las herramientas lleva a hacer mal uso de ellas y por ende a modelos poco fiables, lo que genera en un proceso de comunicación e interoperabilidad bajo estándares abiertos (OpenBIM), una pérdida de información tanto geométrica como alfanumérica, tal como sucedió en el estudio de Sacks, Kaner, Eastman & Jeong (2010).

Por tanto, la dificultad en la transferencia de modelos de información bajo estándares abiertos no se atribuye únicamente a un formato de intercambio, la compañía tiene una alta responsabilidad frente a la situación y su aporte está en capacitar a sus colaboradores, tanto en el manejo de las herramientas como en los procesos asociados a la colaboración en BIM.

También podrán conjugar BIM con otras metodologías de trabajo, como puede ser IPD o metodologías ágiles como Scrum, donde se ponga al individuo por encima de los procesos organizacionales y las herramientas, así mismo potencializar sus capacidades, integrar los entornos de trabajo a través de interacciones continuas y didácticas.

Igualmente, deben existir directrices claras de comunicación, de lo contrario, los procesos alrededor del uso de BIM quedan a la libre disposición de la organización o profesional involucrado en el trabajo colaborativo. La encuesta refleja que al ser éstas ineficientes se usan diferentes métodos y alternativas de transferencia de información de los modelos BIM, una de ellas es la exportación de planos en DWG como medio de comunicación, los cuales se comparten al interesado por alguna plataforma de correo electrónico u otras en la nube. Esto además de representar una mala práctica desvirtualiza el objetivo de BIM, y provoca una serie de pequeños sobrecostos que sumados representan un valor importante para el proyecto en particular y para la industria misma. Los adicionales se asocia a la duplicación de los esfuerzos por parte de las organizaciones al recibir información en DWG y modelar de nuevo lo que ya se desarrolló anteriormente, sumado a eso los posibles errores por la mala interpretación de la información y el compromiso adquirido al realizar tareas que no son de su responsabilidad.

A nivel tecnológico, la encuesta muestra que la adopción del software empleado por muchos de los profesionales encuestados está relacionada a la demanda del

mercado, y no a sus necesidades u objetivos, y esto se argumenta a partir del alto número de personas (57.4%) que el principal motivo por el que él o la compañía en la que labora actualmente ha implementado BIM ha sido por la demanda del mercado. En muchas ocasiones las contrataciones ciñen una marca comercial específica como también lo reflejan los resultados, lo cual es considerado por la investigación como una práctica inapropiada.

Y aunque lo anterior podría entenderse en un entorno de trabajo privado, no es nada apropiado en un entorno de trabajo desarrollado en el sector público, el cual debe fomentar la transparencia en los procesos de licitación.

En conclusión, los problemas de comunicación e interoperabilidad deben ser abordados a partir de las mejoras de la comunicación en el campo de la construcción y la implementación de OpenBIM, y para esto las organizaciones deben cambiar sus métodos tradicionales de gestión de los proyectos, fomentar una mayor interacción entre los entornos de trabajo a través de la integración de metodologías enfocadas a la colaboración e integradas con BIM. Esto bajo la adopción de estándares abiertos y la elección adecuada de las herramientas favorece a la eficiencia de un proyecto arquitectónico desarrollado bajo la metodología BIM.

## **2.2 BIM como entorno de trabajo colaborativo en el flujo de trabajo en el sector de la construcción**

*“La colaboración implica la capacidad de los diferentes participantes para trabajar en cada una de sus partes del proyecto utilizando sus propias formas particulares de trabajo para lograr un objetivo común, es decir el diseño del edificio” (Isikdag y Underwood, 2010, p. 548)*

### **2.2.1 El flujo de trabajo en un entorno BIM colaborativo**

El enfoque de desarrollar un proyecto modelado en 3D rico en información debe ser visto como un proceso dinámico, que evoluciona a medida que avanzan los procesos del ciclo de vida de la edificación y que se nutre de los conocimientos específicos de cada una de las partes involucradas, y en ningún caso como la construcción virtual de un modelo 3D que solo es útil para visualizar particularidades del proyecto.

El trabajo multidisciplinar colaborativo y sincrónico, requiere que todos los actores trabajen en el mismo modelo y al mismo tiempo, para resolver así problemas previstos en las diferentes fases del ciclo de vida de la edificación (Isikdag y

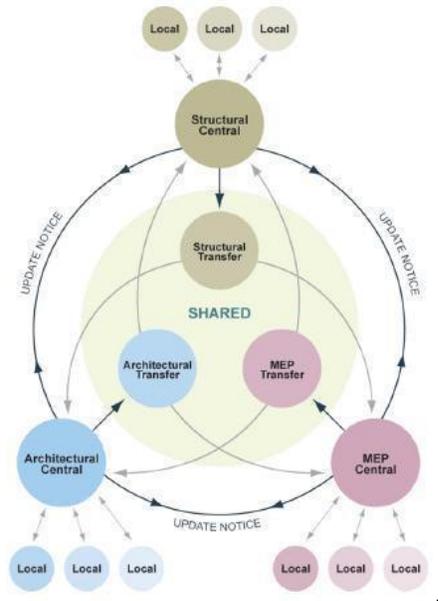
Underwood, 2010). Por tanto, las herramientas BIM ayudan a que todas las partes puedan generar un modelo integrado y coordinado de tal manera que cualquier conflicto existente pueda ser identificado y resuelto oportunamente (el proceso conocido comúnmente como detección de choques) (Grilo y Jardim-Goncalves, 2010).

El modelo de información también facilita el estudio de enfoques alternativos para dar respuesta a soluciones a través de la capacidad para visualizar las propuestas de diseño en los procesos iniciales y hacer evaluaciones quizás estéticas o funcional de un espacio de interés, sean acabados o comportamientos estructurales. En ese sentido, los propietarios y los miembros del equipo también pueden abarcar fácilmente y con precisión los detalles y ajustes necesarios que podrían variar durante el proceso de diseño (Grilo y Jardim-Goncalves, 2010).

De acuerdo a Grilo y Jardim-Goncalves (2010), El trabajo colaborativo en BIM también permite:

- A los propietarios tener una comprensión precisa del proyecto, así como del cumplimiento a sus requerimientos
- El diseño, desarrollo y análisis del proyecto conjunto y sincronizado.
- La gestión precisa de la información para la construcción del proyecto
- La gestión de las operaciones del proyecto durante su funcionamiento y desmantelamiento.

Imagen 18: EL trabajo colaborativo en BIM



Fuente: <https://bimimplementation.files.wordpress.com/2012/04/aec-datashare.jpg>

La colaboración y la formación de los equipos es otro factor clave para el éxito de BIM en proyectos de construcción. Como se muestra en la imagen 18, todos los esfuerzos realizados por diversas especialidades (arquitectos, estructurales, hidrosanitarios, eléctricos y demás) se unifican y se aplican a un modelo integrado. Esto resulta en correspondencia directa y trabajo en equipo (Rokoei, 2015).

Lo anterior también ha llevado al nacimiento de nuevos roles y relaciones dentro de las organizaciones y los equipos de trabajo. El enfoque en BIM requiere cambios en la distribución de funciones y responsabilidades. Algunos roles como dibujantes pueden llegar a ser obsoletos, y son reemplazados por los modeladores. Otras funciones, tales como coordinadores BIM o BIM managers han surgido para apoyar una mayor coordinación en el desarrollo de un modelo BIM integrado (Porwal y Hewage, 2013).

Lo anterior también trajo consigo una nueva reestructuración organizacional, capacitaciones técnicas, cambios sociales y las asignaciones de los roles y tareas de los involucrados en un entorno BIM, las cuales se describen en el sub-capítulo 2.4

### **2.2.2 Principales disciplinas que intervienen en el diseño y planificación de un diseño arquitectónico desarrollado en BIM**

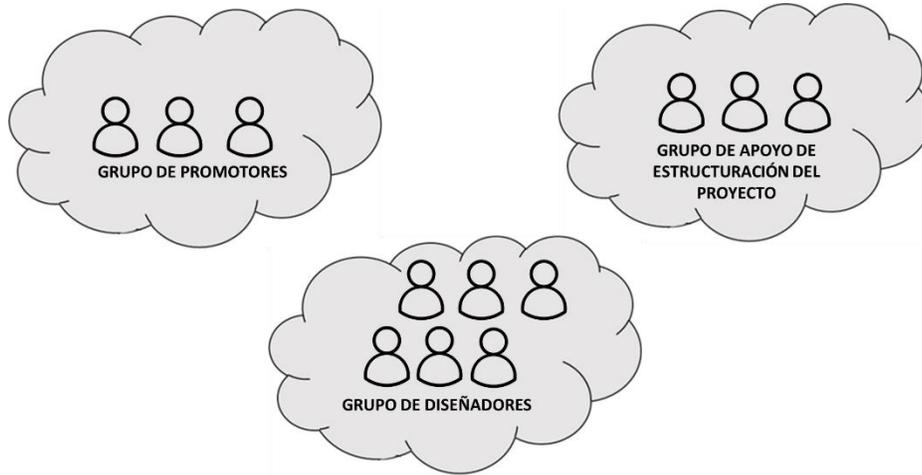
El número de disciplinas que interviene en el diseño de un proyecto de edificación es cada vez mayor, y esto se debe a lo mencionado en diferentes ocasiones. La complejidad de un proyecto contemporáneo, el aumento de las normativas que aplican a una edificación, la búsqueda de un proyecto sostenible y “eficiente”, son algunas de las muchas razones por la cuales se requieren de un amplio entorno de trabajo, en el que se compartan experiencias y conocimientos que aporten al buen desempeño del proyecto.

Así pues, un entorno de trabajo BIM y la búsqueda de eficiencia, hace necesaria la integración de muchas más disciplinas de las que podrían participar en un proceso tradicional. Y entre las principales se encuentran, el arquitecto, el geotecnista, el ingeniero estructural, eléctrico, hidrosanitario, telecomunicaciones, el especialista en seguridad humana, el paisajista y otros más. Aunque estos aspectos están relacionados con el uso del proyecto, su envergadura, las pretensiones del cliente y las capacidades económicas del propietario.

Estas disciplinas, a su vez, pueden realizar diferentes actividades dentro de un proyecto de construcción, es decir el arquitecto desarrolla el proyecto arquitectónico, pero también es el encargado de realizar los diseños exteriores y de urbanismo. Así mismo el hidrosanitario, puede desarrollar los diseños hidráulicos, pero también los de red de contraincendios (RCI) y las redes de gas. Lo cual quiere decir, que, aunque existan pocas o muchas organizaciones estas pueden abarcar diferentes actividades del proyecto, pues al interior de las compañías pueden existir diferentes dependencias que abarcan diversas necesidades de un proyecto. Para hacer más clara la identificación de los actores y disciplinas que participan e interviene en un proyecto de construcción bajo un entorno de trabajo BIM, se toma como ejemplo un proyecto comercial desarrollado por una compañía local de la que, por temas de integridad, no se menciona a su nombre ni el del proyecto.

En un proyecto comercial, considerado especial por todos sus requerimientos, se identifican alrededor de 30 organizaciones que intervienen en el proceso de diseño. El conjunto de participantes, está conformado por 3 principales grupos, uno de promotores, otro de apoyo de estructuración del proyecto y uno más conformado por los diseñadores de la edificación (imagen 19).

Imagen 19: Grupos de organizaciones participantes en el proceso de diseño



Fuente: elaboración propia

El grupo de promotores está conformado por: la gerencia, el constructor y la interventoría del proyecto.

El grupo de apoyo de estructuración, lo conforman: El urbanista, el especialista en fundaciones, el presupuestado, el programador, la coordinación técnica general, y la coordinación BIM del proyecto.

Por su parte, el grupo de diseñadores está conformado 21 especialidades, que son como siguen:

1. Diseñador Arquitectónico
2. Diseñador estructural
3. Revisor estructural
4. Diseñador de estructuras metálicas
5. Diseñador eléctrico
6. Diseñador hidrosanitario
7. Diseñador de red contraincendios
8. Diseñador de seguridad humana
9. Diseñador de iluminaciones
10. Diseñador de automatización

11. Diseñador de sistemas fotovoltaicos
12. Diseñador de redes exteriores
13. Diseñador de vías y rasantes
14. Diseñador de gas
15. Especialista geotécnico
16. Especialista hidrológico
17. Especialista bioclimático
18. Especialista de transporte vertical
19. Diseñador de Aire acondicionado
20. Diseñador de carpintería metálica
21. Diseñador acústico

Como se hizo mención anteriormente, los diseños arquitectónicos y de urbanismo son de responsabilidad de una misma compañía. El estudio hidráulico, los diseños de gas, los diseños de redes exteriores y los de RCI están también a cargo de una sola empresa, es decir, alrededor de 6 diseños son de responsabilidad de dos compañías, y esto disminuye la cantidad de actores que finalmente podían resultar en caso de contratar todos los diseños de manera independiente.

Otras disciplinas o compañías que son responsables del transporte vertical, la carpintería metálica, estudios bioclimáticos, de suelos, diseños de sistemas fotovoltaicos, diseños acústico, diseños de vías y rasantes y estudios de seguridad humana, resultan ser figuras intermitentes en el proyecto o con poca participación, de hecho, se podría referir a estos como un grupo de consultores externos, y aunque su participación es muy valiosa para el desarrollo del proyecto, la interacción con estos actores no es tan constante como podría ser con el arquitecto, el ingeniero estructural, el hidráulico, el mecánico, eléctrico, el diseñador de iluminación, y se podrían considerar estos como los actores principales del proyecto que intervienen en el entorno BIM.

### **2.2.3 Herramientas de modelado y simulación para la gestión de la información constructiva**

Aunque el aporte de BIM es la metodología de implantación que trae consigo, lo cierto es que este también se refiere a un conjunto de tecnologías y soluciones que pueden mejorar la comunicación entre las organizaciones y la interoperabilidad en la industria de la construcción, así como beneficiar las prácticas del diseño, la

construcción y las del mantenimiento de una edificación (Ghaffarianhosein et al., 2016). Además, las plataformas optimizadas para el modelado paramétrico permiten nuevos niveles de visualización espacial, simulación del comportamiento funcional de la edificación, la gestión efectiva de la información y la colaboración operativa entre los diferentes miembros del equipo AEC.

Actualmente hay un buen número de aplicaciones BIM en el mercado, a pesar de que se trata de un tipo de software costoso de desarrollar y que precisa de mucho servicio post venta. En general, todos llevan un largo tiempo en el mercado, con excepción de aquellas que están desarrollándose de la mano de grandes compañías de CAD, que tienen una historia más corta, como el caso de Revit que se desarrolló en el año 2000 (Coloma, 2008), a diferencia de otras aplicación BIM como Archicad de Graphisoft y Allplan Nemetschek que nacieron incluso antes que el termino BIM fuese acuñado en el medio, pues estas datan de 1982 y 1984 respectivamente.

Estas herramientas BIM que se nutren del concepto genérico de Modelado de Información también se alimentan principalmente del mundo industrial, aunque esto no ha marcado la diferencia productiva que existe entre ambos sectores, pues, si bien, el trasfondo es el mismo (modelos tridimensionales contenedores de información accesible en tiempo real) la forma en como estos se abordan es totalmente distinta (Coloma, 2008).

Lo cierto es que la introducción de estas tecnologías al campo de la AEC ha permitido automatizar la información que se produce y se gestiona a lo largo del desarrollo de un proyecto arquitectónico. Pues bien, el hecho de generar plantas, secciones, alzados, tablas de datos y demás información necesaria, coherente con un modelo 3D y con los cambios producidos en cada proceso, ha significado una revolución en la manera de generar la información, dejando atrás los métodos artesanales de producción, lo cual ha permitido un ahorro significativo en tiempo y costos.

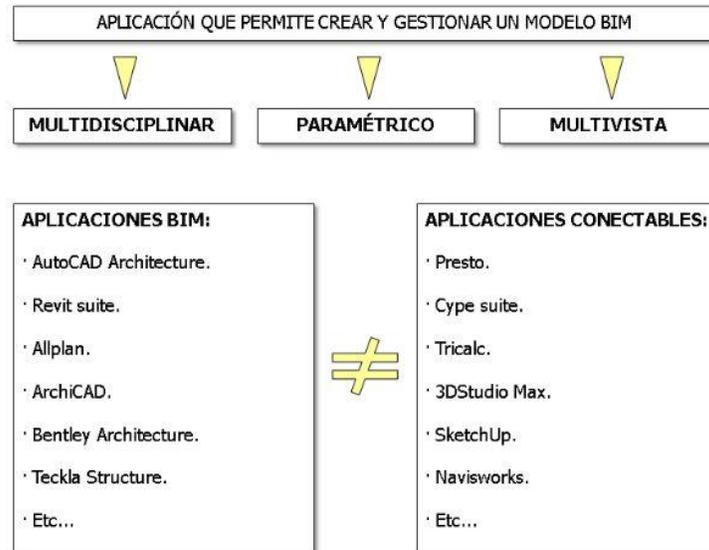
En vista de lo anterior, existe mucha competencia entre las casas fabricantes de software, aunque se destacan en el mercado empresas como Autodesk, Graphisoft, Bentley y Nemetschek que lideran en la actualidad con sus software Revit, Archicad, Bentley y Allplan respectivamente, y esto se debe al gran nivel de desarrollo , ya que han tomado el carácter de sistemas estándar a nivel mundial, no obstante, Revit y Archicad tienen aún mayor liderazgo , y en lugar de debilitar sus posiciones, continúan con una competencia que según Ocampo (2015), les lleva a

la posibilidad de absorber a las aplicaciones de las otras compañías como las de Bentley y Nemetscheck.

Por otra parte, y en general, una de las principales características de estas aplicaciones es que emplean como entidades de trabajo objetos paramétricos de cualquier disciplina que sean capaces de relacionarse entre ellos y de los que se puede extraer diversos tipos de información, entre los que se incluye representaciones gráficas, pero también alfanuméricas (Coloma, 2008).

Si bien, lo cierto es que no podría existir la implementación de esta metodología sin hacer uso de las herramientas BIM, también es seguro que no todos los softwares que se utilizan en el universo BIM o en un entorno de trabajo común pueden ser catalogadas como tal. Pues, un amplio entorno de trabajo no se limita únicamente al uso de las aplicaciones BIM; el flujo de un trabajo cotidiano en una oficina de arquitectura puede ser el producir el modelo arquitectónico en una plataforma BIM como Revit y renderizar o generar imágenes de presentación en una plataforma como Sketchup porque les resulta ser lo más le conviene. Y aunque esta última no pueda ser catalogada como una herramienta BIM debe existir la capacidad de conectar una plataforma con la otra para llevar a cabo el proceso de trabajo concurrente que mejor le convenga a una compañía. Por tanto, esto requiere de una cuidadosa elección de la herramienta que se emplean.

Así pues, Coloma (2008), menciona la existencia de otras aplicaciones que pueden existir en un entorno BIM, que deben permitir conectarse con aplicaciones BIM para extraer del modelo aquella información que sea útil para determinado fin (imagen 20). Por ejemplo, la aplicación de mediciones Presto es capaz de leer las mediciones incluidas en los modelos de ArchiCAD y aplicarles partidas y precios, gracias a que este último es capaz de vincular objetos de medición a elementos constructivos.

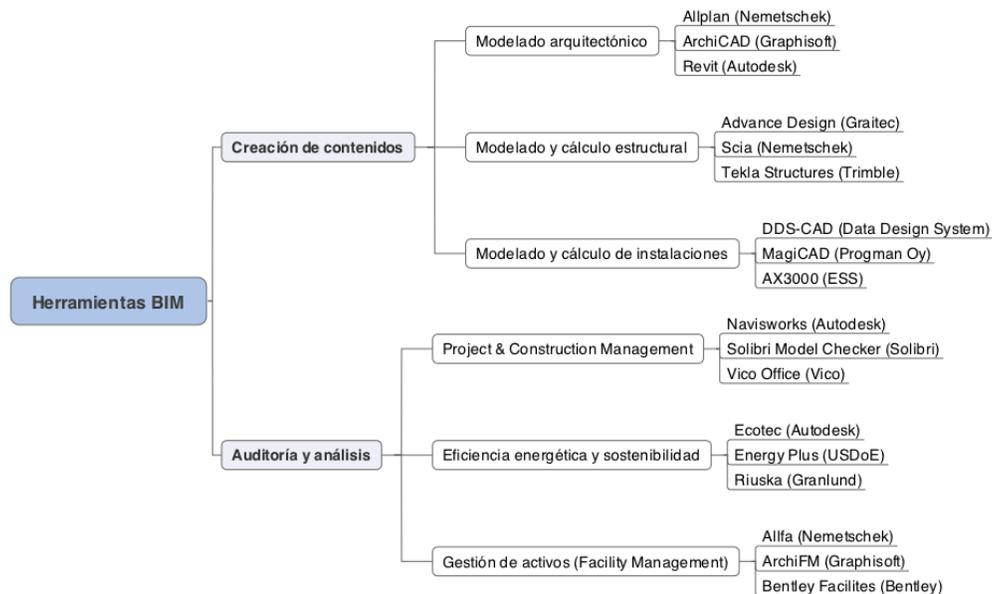
*Imagen 20: Herramientas BIM y aplicaciones conectables*

*Fuente: Coloma (2008)*

De tal forma Bouzas (2013), menciona que en un entorno BIM pueden distinguirse dos grandes grupos de herramientas, así como lo muestra la imagen 21.

1. **Herramientas para la creación de modelos:** Estas plataformas, a las que Bouzas (2013), llama de creación de contenidos, representan quizás el elemento más importante a disposición de un equipo de diseño, pues con él se crea el modelo que servirá para su posterior análisis y dotación de información asociada, que se realizará de forma gradual a medida que se avanza en el ciclo de vida del proyecto.
2. **Herramientas de auditoría y análisis:** Complementan a las herramientas de creación de modelos y necesitan de ellas para obtener los lineamientos sobre los que trabajar. A su vez, pueden clasificarse en interactivas y unidireccionales conforme a la relación que se establezca con el entorno de modelado.

Imagen 21: Clasificación de herramientas BIM



Fuente: (Bouzas, 2013)

Como se muestra en la imagen anterior las herramientas BIM están diseñadas para cubrir ciertos escenarios disciplinares, por ejemplo, Tekla Structure (Trimble) está dirigido a ingenieros estructurales, y brinda todo el potencial que ese usuario requiere y que seguro, no será el mismo que un arquitecto necesita.

Otras herramientas de modelado, como Revit de la compañía Autodesk, abarca un conjunto de funcionalidades mucho más amplias y no se dirigen solo a una disciplina, pues el alto contenido que ofrece la plataforma permite satisfacer las necesidades de diversos dominios como Arquitectura, Estructura y MEP. Un valor agregado de la herramienta que la ha hecho destacar de muchas otras plataformas BIM, además del alto potencial que ofrece para la creación y desarrollo de modelos de información.

**Criterios de selección del software**

En la industria de la construcción se utilizan diversos tipos de software BIM comerciales de acuerdo a las características de cada proyecto, el tamaño, la forma, los métodos para el intercambio de datos, las funciones primarias y definidas del BIM, etc. Sin embargo, la elección del software no está determinado por ningún estándar, lo cual deja abierto el panorama y la selección del software BIM tiende a inclinarse por la demanda en el mercado (es decir, seleccionan el programa de mayor venta) (Won y Lee, 2010).

Por tanto, Coloma (2008), menciona diferentes aspectos para determinar la elección del software. De estos se destacan los siguientes:

En primera instancia se requiere de una evaluación interna en función de las necesidades de la compañía, determinar los aspectos y las actividades más relevantes y en función de eso poder determinar con cuál herramienta es posible dar respuesta oportuna a las necesidades actuales. Un buen sistema de elección es escoger la aplicación que mayor puntuación haya obtenido en aquellos aspectos que para la compañía o las actividades personales son importantes. Por ejemplo, el motor de gestión de cambios seguramente será más importante que el de producción de la información, por tanto, no será descabellado quedarse con aquella herramienta que mejor resuelva el primer punto, aunque su sistema de composición de impresiones no sea tan brillante como otras.

También es necesario pensar en las posibilidades de continuidad de la herramienta y las posibilidades de uso o del soporte local. Migrar hacia la metodología BIM requiere un esfuerzo considerable que se amortiza pronto, pero es preferible cambiar de software por voluntad propia que tenerlo que hacer por los requerimientos contractuales, demanda local o condiciones del cliente.

Otro aspecto, que Coloma (2008) menciona como el más importante, es la conectividad o la interoperabilidad entre este software con las posibles diferentes herramientas usadas por los demás involucrados: Hablar de BIM quiere decir hablar de conectividad. Un modelo de Información de arquitectura, por sí mismo, ya tiene un gran valor añadido y de él se puede extraer información en forma de tablas de manera bastante sencilla. Pero si para una compañía resulta esencial, por ejemplo, sacar mediciones y certificaciones de los proyectos, la conectividad de la aplicación BIM con este tipo de software decantará la balanza a favor de aquellas que mejor lo resuelvan en ese momento (Coloma, 2008, p22).

Si bien, un proyecto de edificación de entidades privadas puede desarrollarse en un entorno de trabajo cerrado por definiciones contractuales, es decir, haciendo uso de herramientas de la misma casa fabricante, lo mismo no podrá suceder en un proyecto de recursos públicos, porque allí debe existir una total transparencia y dejar en libertad la elección de las plataformas en función de las necesidades de cada disciplina y cabe la posibilidad que existan diversas herramientas de diferentes casa fabricantes, donde la necesidad de comunicar la información un actor con el otro surge de la misma colaboración requerida. Cuando esto ocurre la interoperabilidad debe ser vista con total importancia, y debe ser allí cuando lo mencionado por Coloma (2008) toma mayor importancia.

Por lo tanto, *Building Smart* principal promotor de OpenBIM, determina dentro de sus requisitos generales para la elección del software, verificar que cuente con la certificación mínima de IFC 2x3, que significa que el software puede exportar e importar el modelo en el formato indicado, para hacer efectiva la colaboración y la comunicación en un entorno de trabajo BIM.

## 2.3 La gestión automatizada de la información en el entorno BIM

*“El uso de BIM en el proceso de diseño de una edificación genera ahorros significativos, tan solo con el hecho de automatizar la información de cualquier entregable a partir de un modelo 3D” (Díaz, 2020).*

El uso de tecnologías avanzadas como las que ofrece la metodología BIM ha permitido aumentar la productividad en la industria, dar una respuesta más rápida al cliente en relación con su solicitud. También ha permitido impulsar la industrialización, pues, para algunas empresas, especialmente para aquellas que modelan las estructuras o elementos prefabricados del proyecto con metodología BIM, les ha permitido la generación automática de las plantillas de fabricación y una medición exacta de las unidades constructivas (López, 2016). Lo cual, sin duda ha abierto las posibilidades en la exploración de nuevas composiciones volumétricas, alternativas de fachadas, incorporación de nuevos materiales al proyecto, la disminución del desperdicio y demás.

En otras fases, como la logística, el uso de un modelo BIM otorga el beneficio de automatizar una serie de información de la que anteriormente no se tenía el control suficiente, por ejemplo, la planificación de la logística de producción y de transporte de los elementos llevados al sitio, así como el de evitar posibles incidencias que lleven a correctivos que representen costos adicionales.

Por tanto, Díaz (2020), considera que el mayor beneficio otorgado por la metodología BIM está en la construcción, y es el resultado de lo que se puede hallar antes de construir una edificación; es ahí donde está realmente su valor. Más allá de las posibles colisiones y choques entre redes que se logren identificar, el aporte está en nivel de planificación que se pueda pronosticar a partir de esa maqueta virtual sobre, la cual logra dar respuesta a las muchas preguntas que surgen en los inicios, por ejemplo: ¿cómo se va a construir?, ¿cuál va ser el ritmo de trabajo?, ¿cuáles son los correctivos a tomar? Esas son las oportunidades que se tienen sobre las decisiones al poder manejar la información contenida en un modelo, y eso requiere de un plan para operar la información de manera objetiva.

### **2.3.1 El uso de modelos BIM como medio de comunicación**

La comunicación es fundamental en la construcción de simulaciones virtuales, y varios tipos de enlaces pueden establecerse durante el desarrollo de un modelo BIM. La información compartida puede ser parte del modelo 3D, o podría ser contenida en otro formato separado del modelo mismo, como el cronograma, una hoja de cálculo, una base de datos, o un documento de texto (Grilo y Jardim-Goncalves, 2010).

Siempre que las interacciones involucren los componentes del modelo 3D se requiere que existan enlaces entre las plataformas BIM, lo que significa que, aunque los modelos se hayan desarrollado mediante diferentes herramientas de software es necesario que la interoperabilidad pueda darse entre las mismas. Es decir, los modelos deben ser compatibles con los otros desarrollados por diferentes herramientas de software.

De acuerdo con Grilo y Jardim-Goncalves (2010), unas de las tareas importante a las que pueden contribuir la interoperabilidad entre las herramientas BIM en la etapa de diseño a través de la implementación del concepto OpenBIM es:

- Analizar el rendimiento energético de un edificio e iluminación.
- Analizar la estructura de la edificación.
- Permitir la simulación y evaluación de materiales / equipos alternativos de compras.
- Analizar el costo del ciclo de vida del edificio desde el diseño inicial.
- Una coordinación efectiva con todos los participantes del proyecto.
- La fiabilidad y transparencia de la información.

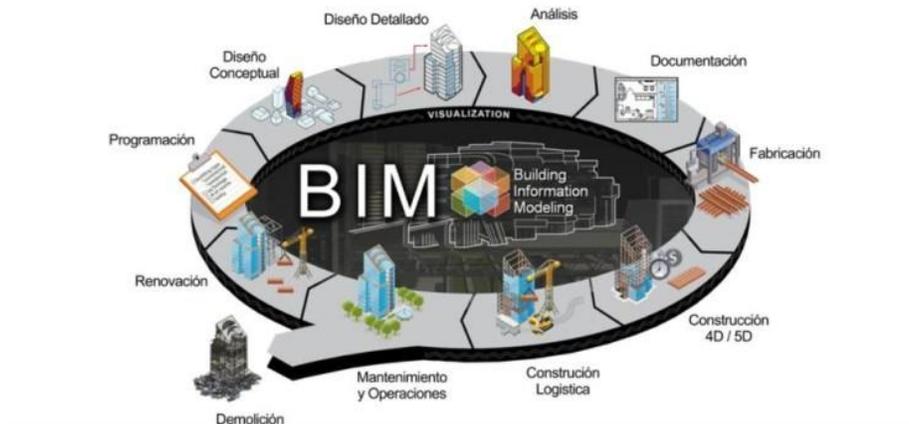
El uso compartido de los modelos BIM mejora en gran medida la consistencia de los datos y también aumenta la velocidad de la generación y análisis de las alternativas de diseño (Isikdag y Underwood, 2010). Además, permite una coordinación eficiente desde fases iniciales.

### **2.3.2 Transferencia e intercambio de información a partir de modelos virtuales**

A diferencia de los métodos tradicionales de desarrollo de un proyecto de edificación, la metodología BIM involucra todo el ciclo de vida de un proyecto de

forma cíclica e interactiva, tal como lo muestra la imagen 22, por tanto, la fase de diseño como procesos de trabajo, no funciona de manera independiente y lineal.

Imagen 22: Ciclo de vida de un proyecto BIM



Fuente: Tomado de <https://forums.autodesk.com/t5/revit-bim-360-espanol/el-bim-en-colombia/td-p/5629133>

La fase de diseño involucra muchas otras actividades, no solo participan el propietario del inmueble, el arquitecto y los demás ingenieros, sino que se involucran especialidades que comúnmente son integrados en otras fases como la de análisis, fabricación, construcción, logística, mantenimiento, operación y renovación. Pues la suma de estos actores y los esfuerzos en etapas tempranas busca minimizar los impactos de las etapas futuras, como anteriormente se ha dicho. Lo anterior, hace precisamente a la transferencia de los modelos de información una necesidad, y aunque en cada fase la creación del modelo tenga unos objetivos particulares, todo va encaminado a la misma dirección, el buen desarrollo y desempeño del proyecto.

Así pues, el desarrollo del modelo BIM inicia en una oficina de arquitectura determinada y su propósito es reducir los tiempos de producción de la información para la construcción, facilitar la comprensión del proyecto por parte del cliente y los demás actores, estudiar la viabilidad de las opciones de diseño, detectar las omisiones, disminuir los errores e incoherencia en los diseños y demás. También debe ser útil en otra fase de la edificación. Por ejemplo, el modelo que el arquitecto desarrolla y coordina con las demás especialidades, debe estar elaborado de tal forma que el constructor pueda extraer la información relacionada a las cantidades de obra, especificación de materiales, ordenes de cambios, informes de avances. Pero también debe permitirle realizar otra serie de actividades como la simulación del progreso constructivo del proyecto mediante el seguimiento de los planes o

cronogramas de obra, a lo que en BIM se le denomina el nivel 4D (Azhar et al., 2012).

Además, el uso del modelo de información también hace posible la prefabricación de elementos constructivos, aunque esto requiere de una rigurosa coordinación con otras especialidades y demás.

Con lo anterior, se señala que la transferencia e intercambio a partir de modelos de información no es una necesidad única de la fase de diseño, el hecho de emitir un modelo “fiel” a lo que se va construir, disminuye los esfuerzos por parte del constructor, pues este no va requerir modelar nuevamente la edificación para simular el proceso constructivo, ni mucho menos pasarse horas o quizás días tratando de entender el proyecto, extrayendo cantidades de materiales a través de planos digitales o físicos en 2D, pues la automatización de la información es uno de los mayores aportes que los modelos de BIM otorgan para disminuir los tiempos en las tareas como las mencionadas anteriormente.

### **La transferencia de modelos en la fase de diseño**

La eficiencia que pueda tener un proceso comunicativo a partir de modelos de información depende en gran medida de los protocolos definidos con antelación, es decir, antes de iniciar un proyecto se deben establecer diferentes condiciones, como los objetivos, los planes de comunicación, el uso de una plataforma integral como BIM 360 u otra diferente que cumpla con el mismo propósito, los roles y los alcances de cada uno de los diseñadores, así como los formatos de intercambio que va ser empleado en el proceso de comunicación.

Otras condiciones técnicas y de buenas prácticas deben ser atendidas para lograr una comunicación eficiente entre los diferentes actores, por ejemplo: la definición de la georreferenciación, lo cual determina el origen y las coordenadas del proyecto, la nomenclatura de los archivos, las unidades de medidas, los niveles y los ejes estructurales, etc.

Todo lo anterior debe estar contenido bajo un Plan de Ejecución BIM (BEP), el cual funciona como herramienta contractual que define las relaciones entre todos los involucrados (Sánchez et al., 2014). Pues de acuerdo a Costa et al. (2015), la categorización de los niveles de detalle de la información que estén contenidos en el BEP es una manera de anticipar los problemas de interoperabilidad que puedan surgir en el desarrollo de proyectos en BIM.

Otro tema importante, es la buena práctica que se tenga al momento de crear los contenidos de los modelos, pues afecta considerablemente sobre los objetivos planteados, incluso un alto porcentaje de los encuestados (59.3%) (ver anexo 1, imagen 125, pág. 326) de la presente investigación considera que es uno de los mayores factores que dificulta el proceso de intercambio de información basado en modelos BIM entre las diferentes disciplinas. En un caso de ejemplo en el que los objetivos de un modelo BIM es la coordinación, programación y estimación de costos de un proyecto, la forma como se modelan los componentes y elementos de la edificación juegan un papel importante, pues el hecho de modelar elementos como muros y columnas por niveles va permitir una estimación de los costos del proyecto más acertada, y la simulación de la programación y ejecución de la obra también podrá hacerse de la misma forma, a diferencia de si los muros y columnas se modelan desde el nivel 1 hasta el “nivel x” de forma continua; en ese caso, ningún software permitiría la estimación de los costos y cantidades como se requiere.

El empleo de las entidades correctas también hace parte de las buenas prácticas, lo que quiere decir que los muros se modelen con la herramienta muros, las columnas la herramienta de columnas, las losas con la herramienta de losas, etc. Pues el 46.3 % de los mismo encuestados de la presente investigación a través de la pregunta “¿Qué factores cree que podría dificultar el proceso de intercambio de información basado en modelos BIM entre las diferentes disciplinas?” contestan que es la perdida de información en el proceso de exportación e importación (ver anexo 1, imagen 125, pág. 326), y esto en una alta medida se debe al mal uso de las herramientas que emplean los softwares. Por ejemplo, si el diseñador de redes modela sus componentes con las herramientas inadecuadas, es probable que el arquitecto al recibir ese archivo e importarlo a su software de trabajo, no va a poder leer esa entidad como un componente nativo de la herramienta, es decir, no lo reconocerá como debe ser. Estas problemáticas se deben a la falta de protocolos definidos que se reflejan tanto en los métodos de modelación como en la deficiencia en los procesos comunicativos en los entornos BIM. Lo que en efecto debe ser subsanado para avanzar hacia la interoperabilidad eficiente que se busca.

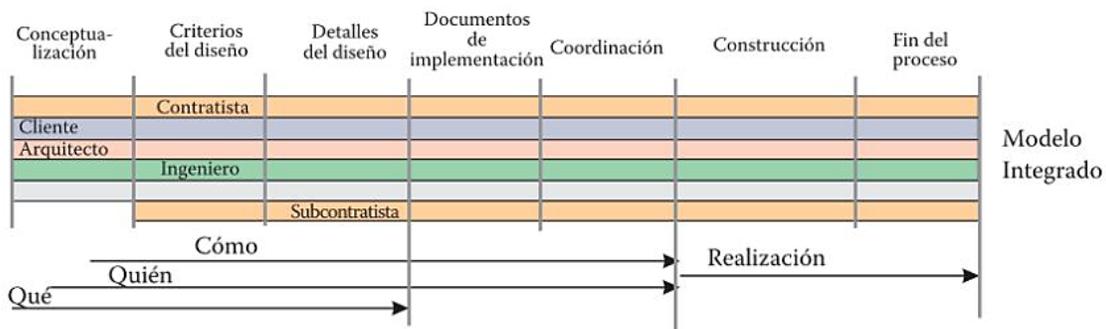
### **2.3.3 Beneficios y oportunidades del BIM para el mejoramiento la comunicación y la interoperabilidad**

La integración de los diferentes actores desde etapas tempranas del proyecto surge de la necesidad de dar respuestas de manera anticipada a las preguntas que resultan durante las diversas fases del ciclo de vida de una edificación. Los interrogantes: ¿Qué?, ¿Quién?, ¿Cómo?, se buscan resolver a través de un modelo integrado (imagen 23), en que los actores puedan aportar sus conocimientos desde

etapas embrionarias para subsanar o prever las dificultades que puedan surgir en el proyecto a lo largo su ciclo de vida. Lo cual, sin duda aumenta los esfuerzos en la etapa de diseño, especialmente en la comunicación fluida y constante que se requiere para desarrollar una edificación de forma coherente e integrada, en la que los métodos tradicionales no caben dentro de esta nueva participación de actores.

En esa medida, se considera que BIM tiene un gran impacto en el fortalecimiento de la calidad de las decisiones tomadas en las fases iniciales (Eastman et al., 2011), pues, los modelos tridimensionales orientados a objetos, o repositorios de información del proyecto facilitan la interoperabilidad y el intercambio de información a partir de la adopción de las aplicaciones de software. Además, el uso de BIM y las herramientas orientadas a la construcción digital de un edificio disminuye sustancialmente el riesgo de errores de diseño y las omisiones de un proyecto (AIA California Council, 2007).

*Imagen 23: Modelo integrado*



*Fuente: proyecto AIA California Council (2007).*

Razón por la cual, BIM como tema de investigación ha crecido exponencialmente a lo largo de los años, y aunque se identifiquen diferentes conceptos y definiciones, existe un amplio consenso de que BIM no es el uso simple de un modelo 3D (como anteriormente se dijo), sino un proceso para mejorar el rendimiento a través de todo el ciclo de vida de una edificación (Lu et al., 2013), que además ofrece el potencial suficiente para lograr los objetivos planteados y requeridos por la industria de la construcción actualmente (Azhar, 2011).

De los anterior, se argumentan que los modelos de información son una herramienta útil para reducir la fragmentación de la industria de la construcción, la mejora de su eficiencia / eficacia y para la disminución de los altos costos que surgen de la inadecuada interoperabilidad en el sector AEC (Lu et al., 2013). Pues, los modelos

BIM aportan dentro de sus beneficios, mejorar la comunicación entre las partes interesadas, y esto a través de la visualización, la integración de la información y demás aspectos que aportan en buena medida el buen desarrollo del proyecto.

Según López (2016)

*“Una ventaja clara de trabajar en un entorno virtual, es que permite una mejor visualización del proyecto y, por tanto, hace un seguimiento más preciso y completo al revisar el proyecto desde etapas muy tempranas y poder corregir los errores detectados, cuando son más económicos y sencillos de subsanar. Además, al ir incluyendo y refinando información a lo largo del proyecto, se genera una historia donde se activan las decisiones tomadas, los datos de los materiales, y los servicios realizados” ( p. 52)*

El uso de BIM entre los equipos de trabajo mejora la retroalimentación de la revisión del diseño, reduce los errores, disminuye los problemas de contingencia y conduce a una construcción más rápida (Eastman et al., 2011), pues, el hecho de transferir un modelo de información entre un actor y otro, con la posibilidad de hacer uso de los datos tanto geométricos como no geométricos puede disminuir significativamente los tiempos en la ejecución de las ciertas actividades.

Por tanto, se considera que BIM es constituida como una herramienta indispensable actualmente, que contribuye a la colaboración entre los equipos de trabajo, que minimiza el complicado acceso a la información del proyecto que presentan los métodos tradicionales. Gracias a la interoperabilidad que ofrece BIM se logra alcanzar los objetivos de las empresas, se consigue ahorrar costos y cumplir con los plazos establecidos, obtener un mayor control y alcanzar un más alto nivel de satisfacción del cliente (Gámez et al., 2014).

### **El uso de modelos BIM como medio de comunicación en fases tempranas del proyecto**

El uso de modelos de información desde etapas tempranas de proyecto permite a los actores involucrados en el desarrollo de una edificación tomar ventajas de las aplicaciones BIM y acordar mutuamente una serie de decisiones de marea oportuna, por ejemplo, en una etapa esquemática o de evaluación del proyecto, el uso de modelos BIM permiten analizar espacios y comprender con mayor claridad la rigurosidad de las normas, ya sean urbanas, constructivas y demás. Así como evaluar los comportamientos del terreno donde se asentaría el proyecto. De hecho Azhar et al. (2012), menciona que esta situación ha llevado al desarrollo de diferentes investigaciones relacionadas a la integración de BIM y GIS (sistema de información geográfica), lo cual puede ayudar a los planificadores en la selección del sitio apropiado, la realización de viabilidad y ventas del proyecto.

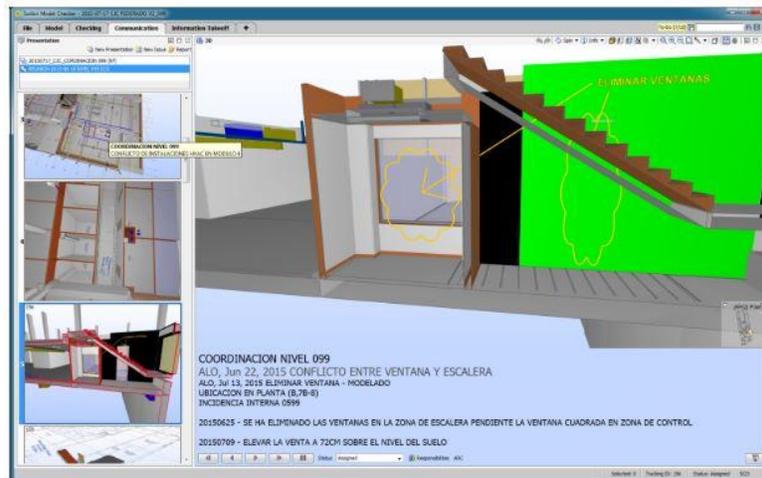
El modelo del terreno, por ejemplo, ayuda a disminuir la incertidumbre y a tener la claridad de la conformación topográfica del sitio, es decir, ayuda a entender si la topografía es plana, pendientada o bruscamente accidentada, lo cual es fundamental para lograr el emplazamiento adecuado, en cuanto a la realización de excavaciones, rellenos y demás. Es común que, en un proceso tradicional, en el que se hace uso de planos en 2D, no se tenga claridad de la superficie topográfica (los dibujos 2D se prestan para malinterpretaciones), lo cual lleva a la generación de proyectos poco viables, porque se “entierra” más de lo debido, no se da un cumplimiento al estudio de suelos, los taludes resultan ser muy grandes, etc. Y esto sin duda, desencadena grandes dificultades en el proceso constructivo, además de los mayores gastos económicos que se acarrearán por la dificultad en la comunicación e interpretación de la información en 2D, ya que el terreno se entendió como una superficie plana o menos empinado de lo que realmente era.

Así pues, Azhar et al. (2012) menciona algunos beneficios del uso de BIM y GIS:

- Ayudar a determinar si los sitios potenciales cumplen los criterios requeridos de acuerdo con los requisitos del proyecto, los factores técnicos y financieros, etc.
- Disminuir los costos de la demanda de servicios públicos y la demolición.
- Minimizar el riesgo de los materiales peligrosos.

Además de las relaciones que pueden existir con las especialidades topográficas, geotecnias y demás, el uso de los modelos BIM facilita también la comprensión del proyecto por parte del cliente, lo cual, le permite tomar decisiones acertadas en función de sus expectativas. BIM y los avances en la tecnología permiten una mayor cercanía con el propietario de la edificación, pues, actualmente el cliente puede vivir experiencias que antes no eran posibles, como realidad aumentada o inmersiva, donde el propietario, de manera virtual puede recorrer espacialmente el proyecto y puede opinar y/o juzgar sobre aspectos espaciales, de materiales, de iluminación y otras condiciones que hacen parte de sus pretensiones. Esta participación temprana con el cliente sin duda mejora la comunicación e interoperabilidad. Las decisiones, ajustes y modificaciones acordadas desde momentos iniciales podrá ser un factor clave para desarrollar los proyectos en los tiempos establecidos en cumplimiento a las expectativas del propietario, pues una de las principales razones de la tardanza de los diseños, es la falta de sincronización del cliente con las propuestas arquitectónicas.

Imagen 24: Identificación de conflictos en un modelo 3D



Fuente: Gea (2015)

Las integraciones de los modelos de información permiten visualizar con mayor claridad las inconsistencias que se producen en un proceso de diseño, tal como lo muestra la imagen 24. Plataformas de gestión como BIM Collabzoom o Solibri permiten hacer comentarios y/u observaciones sobre un mismo elemento del modelo, capturar la imagen y emitirla como una extensión BCF (de la que se hablara en el capítulo 4) al responsable del asunto, y éste al recibirla tendrá de manera inmediata la comprensión del problema, lo cual reduce los tiempos que podría tardar una especialidad; al no tener que buscar esa inconsistencia en la multitud de archivos que se generan en un proceso tradicional, la comprensión es mucho más clara y la respuesta inmediata.

Las oportunidades que otorga el uso de modelos BIM como medio de comunicación son:

- Aumentar la participación del cliente en el proyecto de construcción.
- Disminuir la fragmentación de la industria.
- Disminuir los tiempos de desarrollo de diseños al poder usar la información contenida de un modelo BIM.
- Mejorar la calidad de los proyectos.
- Disminuir la incertidumbre que puede resultar de un proceso tradicional, etc.

Por tanto, se requiere un mayor esfuerzo e iniciativa por parte de las empresas constructoras hacia el uso e implementación de la metodología BIM para hacer

frente a las complejidades que abarca el desarrollo de una edificación contemporánea, donde la anticipación y generación de esfuerzos de la fase del diseño lleve a la necesidad de expandir los entornos de trabajo y fomentar el trabajo colaborativo entre todos los integrantes, y la integración de nuevas metodologías de desarrollo del proyecto como puede ser la Entrega Integradas de proyectos (EIP) (*Integrated Project Delivery*) (Gámez et al., 2014).

## **2.4 Aspectos humanos en BIM y su impacto en la comunicación basada en modelos de información**

Cada vez y con mayor frecuencia aumenta el número de herramientas tecnológicas para hacer frente a las necesidades de comunicación que existe en el campo de la construcción, sin embargo, esto no ha sido suficiente, se requieren de condiciones personales que hagan efectiva esa colaboración, ya que al final de cuentas, las maquinas o herramientas tecnológicas operan en función de las decisiones personales. Así pues, Coloma, Ayats, Miquel, Molas y Pui (2019) mencionan que la comunicación en un proceso colaborativo falla cuando se descuida el factor humano.

En esa perspectiva, la comunicación en un proceso BIM está vinculada en un alto porcentaje a los aspectos y condiciones humanas, que de acuerdo a Coloma et al. (2019), la implicación de las personas en un proyecto BIM puede ser abordada desde diferentes aspectos, como la composición de equipos de motivación personal y el aprovechamiento del talento de cada miembro.

Los equipos de trabajo mal formados, en los que existen deficiencias en el liderazgo, relaciones humanas, poca participación de los integrantes, resistencia a los cambios etc., generan deficiencia en los procesos de colaboración, pues en un entorno en el que el punto clave es la comunicación fluida y constante entre los miembros, la composición de los equipos de trabajo basados en el talento humano, en el que se distribuyan las responsabilidades y los roles se otorgan en función de las habilidades y capacidades individuales, contribuye a alcanzar los objetivos y a la potencialización de los aspectos relacionales y sociales como fuentes de innovación.

En consideración a lo anterior, Coloma et al. (2019), plantea la conformación de un equipo BIM a través de las fortalezas personales mencionadas en la tabla 1, más allá de las condiciones técnicas.

Si bien, tradicionalmente los roles han sido designados en función de los currículos y los conocimientos de los profesionales, lo que propone Coloma et al. (2019), es conformar equipos y funciones personales a partir de las habilidades humanas, aunque claro está, esto no deja de lado las condiciones técnicas necesarias que deben de tener los individuos para desarrollar las actividades planteadas.

Así, la formación de los equipos BIM deben de tener en cuenta un factor adicional: los patrones de comportamientos naturales de las personas. Pues uno de los beneficios de trabajar y asignar los roles basados en los talentos humanos es la oportunidad generada de que cada miembro de un equipo haga aquello se le da bien. Esto plantea una conformación de equipos dinámicos, productivos y altamente competitivos, que pone por encima las satisfacciones personales y colectivas sobre cualquier proceso, incluso sobre las herramientas, lo que ayuda a provocar plenitud en lo que se hace, y despierta otras series de actitudes en cada individuo que finalmente lleva a incrementar las relaciones personales, la motivación y el trabajo en equipo.

Lo planteado por Coloma et al. (2019) tiene mucho sentido, de hecho, se ha demostrado que los altos logros empresariales a nivel mundial, han sido resultado del trabajo colectivo, en que se estimula el talento humano, lo cual ha llevado a éxitos de innovación a grandes compañías.

Si bien lo mencionado puede ser visto a nivel organizacional, trasladado a una escala mayor, a nivel de la industria, sin duda aumentaría la colaboración y disminuiría las deficiencias en la comunicación e interoperabilidad en la industria de la construcción.

Tabla 1: Dominios de fortalezas

Ejecución	Liderazgo	Construcción de relaciones	Pensamiento estratégico
Personas que dominan temas de ejecución hacen que las cosas sucedan	Personas que dominan temas de influencia y saben cómo hacerse cargo, hablar y se asegura de escuchar al equipo	Personas que dominan temas de construcción de relaciones, tienen la habilidad para construir fuertes relaciones que puedan mantener un equipo junto y hacer los equipos sean mejores que la suma de las partes	Personas que dominan temas de pensamiento estratégico, ayuda a los equipos a considerar lo que podría ser, ellos absorben y analizan la información para tomar buenas decisiones
Triunfador Organizado Crédulo Consistente Deliberado Enfocado Responsable Regenerador	Activador Líder Comunicador Competidor Maximizador Seguridad en si mismo halagador	Se adapta a los cambios genera Conexión Desarrollador Empático Armonioso Incluidor Individual Positivo	Analítico Contexto Visionario Idealista Imponente Intelectual Aprendiz Estratégico

Fuente: Tomado y traducido de Coloma et al. (2019)

La matriz que muestra la tabla 1, indica los dominios de fortalezas a través de los cuales debe conformarse un equipo. Como se observa, esta se divide en 4 ámbitos, ejecución, liderazgo, relaciones y pensamiento estratégico, genera información valiosa de aquello que puede aportar cada miembro y como actuará en las diferentes situaciones en un entorno de trabajo.

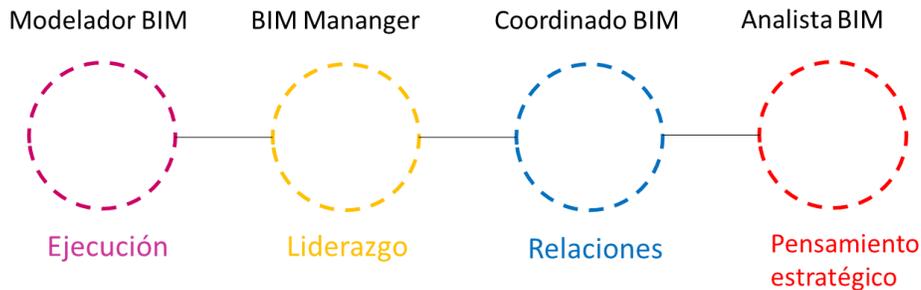
Coloma et al. (2019), considera que, al tener esta información previa al arranque de un proyecto, ayudara desde el inicio a la creación de dinámicas positivas suponiendo una reducción importante del desgaste emocional y de estrés en las personas, además de suponer un ahorro en tiempo y/o dinero.

### **Los roles BIM conformados a partir de las fortalezas humanas**

Un equipo altamente competitivo, compensado y equilibrado ayudará a conformar un núcleo impulsor dentro de una organización en cuanto a la implementación exitosa de BIM, además, será un equipo eficiente y de buenas relaciones interpersonales.

Por tanto, la fijación de los roles BIM debe ser apoyada en una cultura basada en talentos y establecidos a través de sus fortalezas, tal como lo muestra la imagen 25.

*Imagen 25: conformación de equipos BIM*



*Fuente: Imagen de elaboración propia a partir de lo expuesto por Coloma et al. (2019)*

Si bien, deben existir ciertos grados de liderazgo en un equipo de trabajo, lo que se plantea en función de la designación de los roles, es una estructura lineal y no piramidal, pues esta permite un nivel de integración mayor y una más alta participación, así el modelador podrá aportar no solo en el desarrollo sino también en la estructuración de ciertos procesos. Se piensa que una estructura piramidal o jerárquica limita la capacidad de aportación, intimida y no permite una libre

expresión, así las responsabilidades dejan de ser compartidas y se puntualizan en la persona de más alto nivel.

En este caso y en concordancia con Coloma et al. (2019), la asignación del BIM manager debe ser destinada a aquella persona con mayores talentos de liderazgo, para aprovechar así, su entusiasmo natural por iniciar nuevos retos y la capacidad de organizar situaciones complejas que se puedan dar en el camino.

La figura del Coordinador BIM debe designarse a aquella persona de mayores talentos en relaciones personales, puesto que para coordinar los trabajos entre las personas su empatía y cercanía natural resulta un valor añadido combinado con una responsabilidad innata para encargarse de revisiones de calidad.

El modelador BIM, encargado de la creación y visualización de los modelos se le debe asignar a la persona con mayores talentos en ejecución, y por último el analista BIM debe designarse a aquella persona destacada por reflejar un pensamiento estratégico. Una persona a quien de forma natural le apasione el análisis de la información y verificación de coherencia entre los datos aportados por el cliente y los informes extraídos de los modelos (Coloma et al., 2019). Esta persona será la encargada del control de calidad y jugará un papel muy importante en los procesos interoperables en el entorno BIM, pues verificará y analizará los modelos antes de ser compartidos con cualquier interesado en función de los cumplimientos de las necesidades.

### **La cultura organización en la implementación de BIM**

Lo expuesto a través de Coloma et al. (2019), deja en relieve el proceso de cambio cultural que debe existir en una organización para implantar BIM, que conlleva a la búsqueda de una serie de características que pueden ser variables en función la persona. Sin embargo, la resistencia al cambio, la negación, el desconocimiento, la incertidumbre y demás, son factores comunes que dificultan la implementación de BIM en el campo de la construcción.

Si bien la introducción de esta metodología ha revolucionado la forma de entender la arquitectura, la manera de construirla, incluso sobre como operar una edificación, lo cierto, es que la comunicación y la gestión de la información de los proyectos de construcción continúa siendo igual hace décadas (Streule et al., 2016), aun cuando en la actualidad se usan modelos de información como un medio de comunicación.

La resistencia al cambio y la continua practica de los métodos tradicionales de gestión y comunicación no permiten aumentar los beneficios que la metodología BIM promete. Pues para muchas compañías la implementación de BIM ha

significado tan solo una respuesta contractual o una adopción por solicitud específica del cliente como anteriormente se ha dicho. Lo cual limita la innovación, la iniciativa a la mejora continua de procesos y genera desmotivación.

En un entorno de trabajo BIM cada disciplina desarrolla de manera independiente su modelo. El arquitecto genera en su oficina el modelo arquitectónico, de la misma forma lo hace el ingeniero estructural, el eléctrico, el hidrosanitario y demás actores involucrados. Así, luego de finalizar la creación del modelo, cada disciplina sube su información a una plataforma en la nube, como BIM 360 Doc, por ejemplo. Un proceso que está liderado por un actor más, pues es el encargado de integrar la información, gestionar los problemas y demás asuntos de coordinación de diseños.

El problema surge cuando la información que se sube a la nube se hace a través de diferentes versiones, es decir, cada fin de mes y en cada avance de diseño las disciplinas montan el modelo a la plataforma en la web como versión 1, al mes siguiente versión 2, la próxima versión V3, y así sucesivamente. Esto puede ser considerado como una práctica no propia de BIM, pues todos continúan trabajando una información desactualizada, así sea la de la última fecha, cada disciplina o cada diseñador sigue avanzando en su proyecto de forma desarticulada, y en cada ajuste o cambio afecta los diseños otro profesional sin que él se dé cuenta. Ahora si no hay reuniones periódicas, probablemente los errores solo se van a ver identificados al final de mes cuando se monte la información “actualizada en la nube”.

Con el ejemplo anterior, se hace referencia a las deficiencias existentes en las prácticas de comunicación en un proceso BIM, que están relacionadas a los malos procesos organizaciones, pues entre lo expuesto y un flujo de tradicional no existen mayores diferencias. No obstante, las compañías están llamadas a cambiar sus políticas, fomentar el trabajo colaborativo, adoptar estándares abiertos de comunicación que operan dentro del entorno OpenBIM e incentivar el talento humano, que sin duda es uno de los aspectos más importantes en la implementación de BIM ya que esta metodología se basa en la relación entre las personas.

Con esto se abre un nuevo horizonte para el trabajo colaborativo, que requiere de la participación activa de todos los integrantes de un equipo interdisciplinar, en la que se establezca la confianza y el compromiso, a partir de atender las necesidades de cada una de las partes (Coloma et al., 2019).

## 2.5 Scrum, una metodología ágil integrada a BIM como aporte a la mejora de la comunicación de un proyecto de construcción

Los avances vertiginosos en la tecnología, la economía, y en la sociedad en general hace necesaria nuevas estrategias que lleven a aumentar la productividad, la competitividad de la industria, y de las organizaciones, particularmente; Lo que sin duda genera cambios culturales que valoren la comunicación y adaptabilidad al cambio, que les permita adaptarse a las nuevas condiciones del mercado.

Conscientes de lo anterior, algunas compañías constructoras están mejorando el desempeño de sus equipos de proyectos para mejorar su competitividad y aumentar el valor agregado para sus clientes y para ellos mismos (Streule et al., 2016), pues, como se comentó en el capítulo anterior, la estimación del talento humano y la fomentación del trabajo en equipo ha llevado al éxito a grandes compañías a nivel mundial. Y la industria de la construcción requiere de un impulso que estimule el trabajo en equipo, pues el fortalecimiento de los aspectos humanos puede aumentar la comunicación.

En la actualidad, los entornos de trabajo colaborativo entre organizaciones y diferentes profesionales se desenvuelve bajo una serie de imprevistos que desencadenan grandes repercusiones sobre el proyecto, pues el enfoque de gestión secuencial bajo el cual se desarrolla una edificación de método tradicional tiene como objetivo planificar el proyecto en detalle e intenta llevarlo a cabo sin ninguna desviación hasta el final (Streule et al., 2016), y esto no da oportunidad a las interacciones entre los grupos de trabajo, ni permite proveer los problemas con antelación.

Los retos de la colaboración y comunicación, tradicionalmente se han acobijado a través de protocolos, estándares y normativas, las cuales se concentran en la redacción de determinados documentos que hoy son de uso común, como el *BIM Execution Plan* (BEP), por ejemplo, esto con la idea de garantizar el correcto desarrollo de un proyecto a partir de un acuerdo contractual que de lineamientos a los procesos colaborativos.

Sin embargo, Coloma et al. (2019), menciona que lo anterior no garantiza el éxito de la plena comunicación y colaboración entre los actores que participan en un entorno común de trabajo. Razón por la cual, en el último tiempo la industria de la construcción, identificando estas problemáticas ha iniciado la búsqueda de alternativas que van más allá del ámbito estrictamente técnico. Scrum es un resultado de esta búsqueda pues es un método de planeación colaborativa que

reconoce el factor humano como una realidad inherente y que tiene un gran impacto en cualquier actividad.

Al igual que Scrum, BIM también reconoce el factor humano como uno de los mayores pilares que soporta la implementación de la metodología, de hecho, Gámez et al. (2014), considera que BIM es 10% tecnología y 90% sociología, y esto solo demuestra la importancia del cambio cultural que debe existir para lograr los beneficios que la metodología otorga.

Por tanto, dadas las características de BIM y Scrum, se puede pensar que son metodologías complementarias. Así también lo considera Sánchez et al. (2014), quien menciona que recurrir a metodologías ágiles para implementar la gestión en BIM en proyectos de construcción con diseños sistematizados es una gran opción. Por ejemplo, el desarrollo de edificios con elementos prefabricados, donde las interacciones en fase de diseño recurren a una cantidad mayor de elementos, o en algunos proyectos comerciales, donde la velocidad de actuación prima sobre los demás objetivos, resulta una buena oportunidad de poder mezclar ambas metodologías.

Con un soporte metodológico adecuado que integre al cliente y a los demás actores, y mediante el uso de las herramientas que ofrece BIM es posible desarrollar un proyecto de edificación en los plazos establecidos que además cubra todas las necesidades técnicas y las aspiraciones del cliente.

Por su parte Scrum como método ágil, se fundamenta en cuatro postulados, como contraposición a los métodos tradicionales (Sánchez et al., 2014):

1. Se **valora a los individuos** y su interacción en mayor medida que a los procesos y las herramientas.
2. Da más **importancia al software** que funciona que a la documentación exhaustiva. Se base en el desarrollo de prototipos que anticipan el funcionamiento del producto final y reduce así la documentación, descartando la innecesaria y los diversos entregables que resulten redundantes. La clave, se considera la comunicación directa entre las personas y la interacción por medio de modelos virtuales integrados que ofrecen las herramientas BIM.
3. **Valora la colaboración con el cliente** por encima de la negociación contractual, lo que resulta necesario y esencial para lograr un adecuado

desarrollo del proyecto. Y aquí puede entrar en juego el BEP como una herramienta contractual que defina las relaciones entre todos los involucrados.

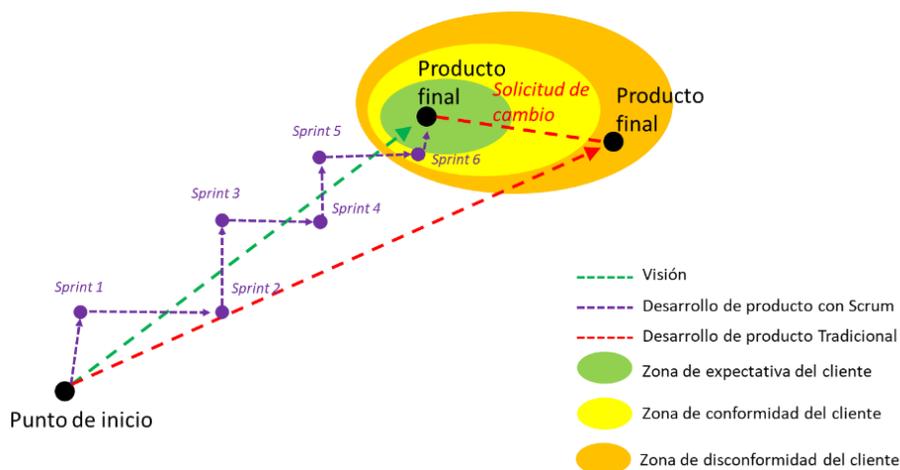
4. Se da mayor importancia a la **respuesta al cambio** que al seguimiento de un plan. Se basa en la anticipación y adaptación frente a la planeación y control de la gestión de proyectos.

Una de las mayores ventajas en este modelo de gestión ágil, es la flexibilidad por medio de planes adaptativos, aportando rapidez al cambio, siendo ideal en proyectos con objetivos poco definidos (Sánchez et al., 2014).

Las herramientas y técnicas que ofrece la metodología BIM en la fase de diseño resulta fundamental para gestionar los requisitos del cliente cuando esos son cambiantes, de este modelo se logra minimizar los riesgos en la fase de ejecución. (Sánchez et al., 2014).

El trabajo desarticulado que se vive en un marco BIM actual, se da por la falta de estrategias de colaboración entre los diferentes actores y las organizaciones. La propuesta que se trae a través de Scrum es la interacción constante a través de los sprint (imagen 26), que se refiere a un ciclo interactivo que propone dicha metodología, en el que se llevan a cabo revisiones constructivas, técnicas, económicas y demás. Un proceso en que se involucra a todos los actores y se hacen revisiones a través de los modelos BIM, lo cual busca atender las necesidades del cliente y la de cada uno de los técnicos especialistas.

Imagen 26: Scrum vs métodos tradicionales



Fuente: Tomado de [https://aprendidas6.rssing.com/chan-32722262/all\\_p11.html](https://aprendidas6.rssing.com/chan-32722262/all_p11.html)

Las interacciones constantes desde el inicio del diseño de una edificación, busca identificar los riesgos que se puedan presentar en su desarrollo y darles solución a medida que evoluciona el proyecto, para cumplir así los objetivos en el tiempo acordado. La representación de la imagen 26, muestra lo que puede significar Scrum en un proyecto, en términos de beneficios. El desarrollo de un proyecto tradicional, es lineal como bien se ha dicho, tiene un punto de inicio y otro final, un proceso totalmente continuo y poco flexible que no da espacio a prever cualquier dificultad. Los requerimientos y los cambios constantes, sin duda son uno de esos retos que presentan los proyectos contemporáneos, y si no existe un método claro de trabajo y una buena comunicación con los demás actores, la línea de visión que significa el tiempo de ejecución tiende a desviarse, y se sale de la zona de conformidad del cliente por entregas tardías, inconsistencias en los diseños, y demás inconvenientes, significando mayor tiempo en el desarrollo y ejecución.

En efecto, Scrum implementado en un entorno de trabajo BIM, plantea una serie de reuniones (Sprint), que pueden ser todas las necesarias o las que convengan, esto, genera un proceso más dinámico, colaborativo, además flexible, que se ajusta a las necesidades inmediatas y busca dar respuesta rápida a lo que se requiere.

La participación activa del cliente disminuirá la curva de satisfacción de sus necesidades, las interacciones a través de un modelo 3D con un nivel de realismo suficiente le va permitir tomar decisiones certeras en cuanto a la arquitectura se refiere.

Los encuentros o Sprints disminuyen la incertidumbre que cualquier integrante pueda tener, pues las reuniones constantes en las que participan todos los actores, permiten dar una respuesta más ágil a las dudas.

Con lo anterior se busca sufragar las dificultades de la interoperabilidad organizacional o la de los aspectos humanos, pues las metodologías ágiles pueden aportar valor a un proyecto definido en un entorno inestables, cambiante, y de una alta exigencia, que es lo común de los proyectos complejos actuales.

## 2.6 IPD integrado a BIM para aumentar la colaboración en la industria de la construcción

Los problemas relacionados a la fragmentación de la industria, la falta de comunicación, la baja productividad, la pérdida de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto, han llevado a la evolución de esta nueva metodología de desarrollo del proyecto. La Entrega Integrada de Proyecto, IPD siglas de su nombre de inglés *Integrated Project Delivery*, difundida por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) se trata de una alianza de colaboración entre personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar el resultado del proyecto, aportar mayor valor al propietario, reducir los residuos y maximizar la eficiencia a lo largo de todas las fases de diseño, fabricación y construcción (Gámez et al., 2014).

De acuerdo a AIA California Council (2007), IPD es:

*“Un enfoque de entrega de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas comerciales es un proceso que aprovecha de manera colaborativa los talentos y las ideas de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el propietario, reducir el desperdicio y maximizar eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción”.* (p.2)

Siendo IPD un método de entrega que incluso puede hacer parte de condiciones contractuales, lo hace totalmente diferente a Scrum, ya que este puede hacer parte de una práctica convenida o adoptada por decisión propia, donde el beneficiado únicamente va ser el proyecto, aunque los entornos de trabajo al no recurrir a contratiempos, y disminuir el margen de error, también mejorarán de manera indirecta.

IPD integra tanto a los actores del diseño como los de la construcción, incluso al cliente. Y en este caso existe un incentivo financiero que hace que tanto el éxito como los problemas o pérdidas sean de todos, es decir, si el proyecto termina en un tiempo menor al establecido, las ganancias económicas que puedan existir deben ser divididas en parte iguales, aunque también, si el proyecto se extiende un mayor tiempo de lo previsto las pérdidas económicas deben ser asumidas por todos los implicados.

De acuerdo a Soler et al. (2017), el Método *Integrated Project Delivery* contiene, como mínimo todos los siguientes elementos:

- 1.- Implicación continua del propietario, así como de los diseñadores y constructores clave.

- 2.- Intereses de negocio alineados a través de un sistema compartido de riesgo/beneficio, incluyendo ganancias financieras por riesgo, que dependan de los resultados del proyecto.
- 3.- Control del proyecto conjunto del propietario, así como de los diseñadores y constructores clave.
- 4.- Contrato común entre todas las partes o con condiciones de participación obligatorias y específicas.
- 5.- Responsabilidad compartida entre el propietario y los diseñadores y los constructores clave.

Por otra parte, Porwal y Hewage (2013), menciona que el acoplamiento de BIM con IPD permite un nivel de colaboración que no solo mejora la eficiencia y reduce los errores, sino que también permite la explotación de enfoques alternativos. Entre otras aplicaciones, IPD se ha materializado como un método de entrega que podría facilitar más eficazmente el uso de BIM para proyectos de construcción.

La implementación de BIM como un repositorio central de información del proyecto de construcción ha revolucionado la forma de gestionar los proyectos. Por tanto, la industria de la construcción está buscando constantemente nuevas formas de mejorar la comunicación y la interoperabilidad entre las plataformas BIM a través de nuevos programas de estándares tecnológicos y abiertos que generen mayor confianza al compartir la información de manera transparente entre las distintas plataformas de diseño y simulaciones que están disponibles en el mercado. El modelo de IPD requieren que las estructuras de información estén estandarizadas en toda la industria.

Es así como IPD debe integrarse a los procesos relacionados con la interoperabilidad a través de un núcleo cíclico que involucra a la colaboración organizacional (personas), la colaboración tecnológica (BIM) y la colaboración en los procesos (estándares abiertos OpenBIM), tal como lo muestra la imagen 27. De lo cual se piensa que es el camino indicado para lograr la plena adopción de OpenBIM en la industria de la construcción y mejorar los flujos abiertos de trabajo.

Imagen 27: La interoperabilidad en la industria de la construcción



Fuente: Tomado, modificado y traducido de Bahar et al. (2013)

Aunque, Porwal y Hewage (2013) consideran que en la actualidad en sector de la construcción en general no está preparado respecto a las relaciones entre la tecnología, los procesos y las personas para la adoptar a BIM a nivel de IPD, ya que hay algunas limitaciones para aplicar IPD que se deben a que la industria está acostumbrada a un modo tradicional de liderazgo y responsabilidad y el cambio es generalmente lento. La ausencia de elementos contractuales, estándares BIM y los problemas en el uso de la metodología como un marco de colaboración son dos obstáculos principales para la adopción plena.

No obstante, el incentivo que se crea alrededor del desarrollo del proyecto bajo el método IPD tiene un valor agregado, que posiblemente pueda ser el impulso para que las organizaciones mejoren sus prácticas internamente, y allí, poder tomar la decisión de adoptar Scrum, por ejemplo, u otra metodología que aumente la colaboración, lo que por consiguiente aumentaría la comunicación e interoperabilidad en la industria de la construcción, además facilitaría de la adopción de estándares abiertos que operan dentro de un OpenBIM para lograr la plena colaboración, transparente y sin exclusiones.

## **CAPÍTULO 3: LA INTEROPERABILIDAD EN EL ENTORNO BIM**

*“En el mundo actual nos encontramos continuamente rodeados por datos. Los datos tienen un enorme valor dado que nos permiten conocer y cuantificar aspectos de la sociedad y la realidad que nos rodea y que, de otra forma, ignoraríamos o sólo podríamos estimar “(Cabellos y Gallego, 2019, n/a).*

Interoperar en BIM, hace referencia a la capacidad de intercambiar datos entre software paramétricos, permitiendo unificar el flujo de trabajo y facilitar la automatización de los distintos procesos durante el ciclo de vida de la edificación. De tal modo, arquitectos, ingenieros y demás disciplinas involucradas en el desarrollo de un proyecto son capaces de intercambiar la información producida en sus modelos, operarla, y hacer uso de los datos compartidos para llevar a cabo sus labores; ello sin estar sujetos a una marca específica de software que soporte el flujo de trabajo.

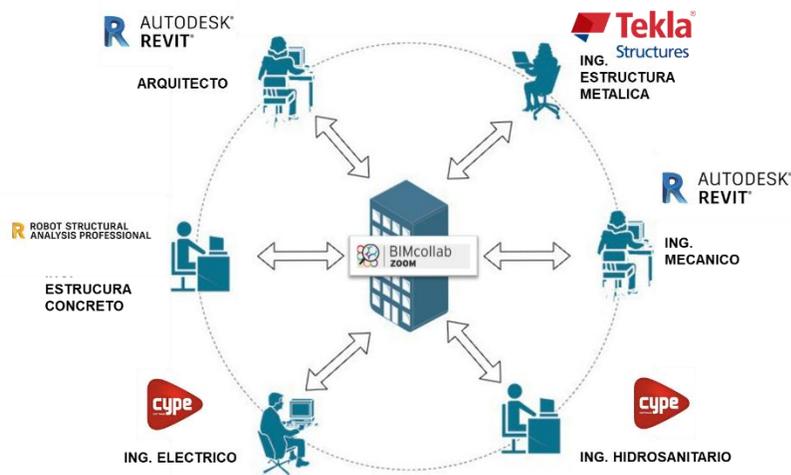
El presente capítulo abre el escenario hacia una nueva realidad y necesidad: interoperar en BIM y hacer uso de Open BIM a través de formatos abiertos como estándar de comunicación que permitan la colaboración y el cumplimiento de los objetivos planteados en un proyecto constructivo. Lo cual permite maximizar los beneficios que ofrece BIM como metodología de trabajo.

Este también expone las oportunidades y los retos a los que se ven enfrentados los distintos actores que participan en ciertos procesos haciendo uso de BIM, la manera en que interactúan, los problemas de la interoperabilidad entre las compañías y los costos a los que se ven sometidos por la falta de interoperabilidad en el campo de la construcción.

### 3.1 La necesidad de interoperar en BIM

Cuando existe la interoperabilidad tecnológica en el entorno BIM diferentes grupos de interés, involucrados en el desarrollo de un mismo proyecto pueden intercambiar modelos de información a lo largo del ciclo de vida de la edificación independientemente de la herramienta que usen. En la etapa de diseño, un caso sería, cuando el arquitecto, el ingeniero estructural, el ingeniero eléctrico, el hidrosanitario y demás disciplinas que se encuentran en un ambiente común de trabajo y bajo modelos BIM independientes, cuentan con la capacidad de unificar e integrar los modelos de información para planificar, analizar o coordinar el proyecto en una herramienta como Naviswork, Solibri o BIMcollabzoom, incluso en las mismas herramientas nativas.

Imagen 28: Concepto de interoperabilidad en la etapa de diseño



Fuente: Elaboración propia

El caso expuesto por la imagen 28, corresponde a un entorno de trabajo abierto, en el que las disciplinas hacen usos de diferentes herramientas de diversas casas fabricantes, dado a sus condiciones y necesidades particulares; así, el ingeniero estructural desarrolla el cálculo de las estructuras en concreto de la edificación bajo el software Robot Structural, la estructura metálica del mismo proyecto se realiza con el software Tekla structure, los ingenieros eléctricos e hidrosanitarios desarrollan sus redes en CypeElec, y el desarrollo arquitectónico es realizado en Revit. Aunque los diseños son desarrollados en diferentes ubicaciones y empleando diversos softwares, la integración de estos modelos está dado a la capacidad de comunicación entre las plataformas BIM, y la conexión directa a través de los ficheros de datos común. Sin embargo, para lograr el éxito de este objetivo, se

requiere de una rigurosa planeación que estandarice los procesos y los flujos de trabajo.

Esta habilidad resulta clave para poder aprovechar todos los datos generados por los individuos y/o las organizaciones, ya que fomenta la calidad y accesibilidad a la información, lo que a su vez también repercute en el número de datos disponibles. En resumen, la interoperabilidad elimina las barreras entre las organizaciones (Cabellos y Gallego, 2019).

Las herramientas BIM buscan en principio satisfacer las necesidades propias de cada disciplina que trabaja bajo un entorno colaborativo enfocado a un mismo proyecto. Sin embargo, si existe un problema de comunicación entre las diferentes plataformas se provocan pérdidas de información en el intercambio de datos durante las distintas etapas (Gámez et al., 2014). Esto será debido a la falta de una gestión controlada que haga eficiente el flujo de trabajo durante el ciclo de vida del proyecto de edificación, además, de desconocer la existencia y el manejo de “formatos universales”, que según Zapata (2017), permiten estandarizar la información, compartirla, analizarla y establecer informes de datos sin estar sujetos a una marca comercial.

También Gea (2015), menciona que en la actualidad la funcionalidad entre las diferentes aplicaciones de software no es total y transparente, pues cada programa suele tener su propia “parcela”. Se podrá transferir un muro y leer su información general, pero no las propiedades acústicas, por ejemplo. Sin embargo, el mismo autor considera que existe un ahorro de tiempo importante para la otra disciplina al poder transferir la información de una herramienta a otra; además este autor también considera los ahorros en la generación de la documentación para la construcción o la gestión del mantenimiento.

Ante las dificultades de interoperabilidad, algunas empresas han adoptado como alternativa la adopción o escogencia de una sola marca de software como solución a los problemas para intercambiar información entre sus áreas disciplinares y las empresas con las que trabajan colaborativamente, sin embargo, esto no ha significado una solución, por el contrario, ha conllevado a otra serie de dificultades que ponen en riesgo la adopción generalizada de la metodología BIM por parte del sector de la construcción.

La hegemonía de las casas productoras de software como solución a los problemas de interoperabilidad es considerada por Díaz (2020), como una mala práctica; al final una sola aplicación no puede proporcionar el conjunto completo de

funcionalidades definidas, ni las necesidades de todos los profesionales inmersos en el desarrollo del proyecto. Del mismo modo Stapleton et al. (2014), menciona que esto impide a las partes interesadas usar una gran cantidad de paquetes de software para llevar a cabo las funciones necesarias para la entrega del proyecto debido a la incapacidad de intercambiar información con precisión y sin problemas, se generan más ineficiencias costosas

De acuerdo a lo anterior, las tendencias actuales de los diferentes softwares BIM del mercado buscan obtener el correspondiente certificado de *BuildingSMART*, que les acredite la correcta exportación e importación de datos, a través de un formato interoperable como IFC (*Industry Foundation Classes*), para poder así dialogar con las demás aplicaciones BIM, durante el ciclo de vida del proyecto (Gea, 2015).

### **3.2 Las barreras de la interoperabilidad en el entorno BIM**

La adopción generalizada de BIM y el uso de un modelo digital integral a lo largo del ciclo de vida de una edificación sería un paso en la dirección correcta para eliminar dichos costos resultantes de la interoperabilidad inadecuada de los datos. Así lo señala Eastman et al. (2011).

Sin embargo, la presente investigación pone en consideración que la baja adopción de las TICs por parte de la industria de la construcción representa un obstáculo importante para alcanzar dicha interoperabilidad; si bien se ha reconocido en el uso del modelo de información BIM la eficiencia en la gestión de la información y la tecnología que puede mejorar la colaboración en proyectos a diferentes grados, Shang y Shen (2014), menciona que existe una brecha de conocimiento entre la práctica y la teoría de los factores críticos de la implementación de BIM como medio de comunicación en proyectos de construcción, y esto debido al rápido progresos en la adopción de esta metodología.

Por tanto, Tchouanguem et al. (2019), indica que la comunicación e interoperabilidad en BIM se enfrenta a diversos obstáculos, entre esos : las barreras conceptuales, tecnológicas y organizativas.

#### **Barreras conceptuales:**

Se refiere únicamente a los problemas de información como su representación en un nivel de abstracción o el nivel de programación. En otras palabras, se refiere al aseguramiento de la información: que pueda ser entendible y sin ambigüedades por todas las aplicaciones que intervengan en un determinado entorno de trabajo.

### **Barreras tecnológicas**

Las barreras tecnológicas, se refiere a los problemas de TIC que se relacionan con el uso de computadoras, abarcan las cuestiones técnicas (hardware, software, telecomunicaciones) necesarias para interconectar sistemas computacionales y servicios, incluyendo aspectos clave como interfaz abierta, interconexiones, intercambio de datos, accesibilidad, seguridad y demás (H. González, 2009).

### **Barreras organizacionales**

Se refiere a los problemas humanos como la responsabilidad, la autoridad, la estructura y la gestión de la información. Así como a definir los objetivos de negocios, modelar los procesos y facilitar la colaboración entre las empresas que desean intercambiar información y pueden tener diferentes estructuras organizacionales y procesos internos (H. González, 2009).

De acuerdo a lo anterior, otro estudio realizado por Shang y Shen (2014), concuerda también que las barreras mencionadas son factores críticos para el éxito de la implementación de BIM como medio de comunicación para la colaboración.

Los investigadores reconocen que los factores técnicos deben ser considerados para lograr el potencial de BIM en los procesos de colaboración.

*Imagen 29: factores técnicos para lograr el potencial de BIM en los procesos de colaboración.*



*Fuente: tomado y traducido de Shang y Shen (2014)*

De acuerdo al estudio de Shang y Shen (2014) que se refleja en la imagen 29, se exponen los siguientes aspectos como factores que dificultan la interoperabilidad en el sector de la construcción, dejando de lado los problemas legales ya que no hacen parte del cuerpo de la presente investigación.

### **Colaboración técnica**

- **Interoperabilidad y compatibilidad de datos.** Se han realizado esfuerzos rigurosos para estandarizar el intercambio de datos. Un asunto común de este problema son los datos de reingresos. Sin embargo, los datos de reingreso no son solo un tema técnico, sino también organizacional. Por ejemplo, las partes interesadas de diferentes orígenes usan diversos softwares en función de sus beneficios y no se definen protocolos de comunicación entre las organizaciones.
- **Seguridad.** Si bien el avance tecnológico ha permitido que la transferencia de datos sea más segura, Shang y Shen (2014), menciona que diferentes usuarios de sistemas de TIC, tienen actualmente preocupaciones por el acceso a la información no autorizada. La baja seguridad siempre reduce la eficiencia de la comunicación remota, el intercambio de información y perjudica la confianza entre las partes interesadas.
- **Interfaz de usuario.** Se considera que la interfaz del software BIM debe ser amable y personalizada en base a los antecedentes del usuario y su función, lo que mejora la participación de los involucrados y la compatibilidad.

### **Colaboración Organizacional**

- **Formación profesional y cultura organizacional.** Los antecedentes y la cultura entre los profesionales en ocasiones impiden el trabajo colaborativo. Hay una resistencia al cambio de tradiciones industriales muy arraigadas que dificultan la implementación de BIM y la colaboración en la industria de la construcción.

Un caso evidente es que a pesar de la adopción de BIM y otras tecnologías de simulación virtual que se han implementado en la industria de la construcción durante años, los profesionales aún confían en las copias impresas, lo que genera más cargas de trabajo y falta de coincidencia de información.

- **Curva de entrenamiento y aprendizaje.** Como tecnología emergente, los actores con diferentes antecedentes pueden tener diferentes grados de

experiencia respecto a BIM, a diferentes niveles, lo que origina variables resultados.

Para optimizar el rendimiento de BIM, empresas, proveedores, o ambos, deben asumir formas de disminuir la curva de formación y aprendizaje en los alumnos. Además, se debe construir un programa de capacitación basado en diferentes requisitos, desde cursos muy generales hasta temas específicos y avanzados.

- **El intercambio y la comunicación.** Se considera la poca voluntad de compartir información entre los participantes del proyecto como uno de los factores críticos para adoptar BIM. BIM amplía el alcance del trabajo y disminuye el límite de las partes interesadas, lo que requiere un intercambio efectivo de información, y comunicación eficiente entre organizaciones.
- **Confianza.** Hasta la fecha, la falta de confianza en la integridad y precisión del modelo 3D continúa siendo una gran preocupación para los profesionales involucrados. A nivel empresarial, Shang y Shen (2014) considera que la confianza es un elemento clave para las relaciones corporativas. Los beneficios de BIM como plataforma de colaboración no se pueden lograr sin la confianza entre las diferentes partes interesadas.
- **Liderazgo.** Los proyectos desarrollados bajo la metodología BIM son tecnológicamente acoplados, aunque divididos organizacionalmente. Para evitar este riesgo, los proyectos de construcción aún necesitan liderazgo individual para mantener a las personas unidas e incentivar la comunicación. Para los líderes de proyecto, administrar las expectativas de los miembros del equipo bajo el impacto limitado de BIM podría reducir parte de la frustración causada por el acoplamiento flexible de la organización.
- **Roles y estructura organizativa.** Los nuevos roles, tales como el BIM manager y la estructura organizativa de los equipos de trabajo surgen en los proyectos desarrollados en BIM. Dentro de la organización, los roles se pueden redefinir en función de las experiencias individuales. Sin embargo, entre las organizaciones, los equipos de proyecto deben restablecer un nuevo canal de comunicación y redefinir los lineamientos de trabajo basado en la nueva estructura organizativa y el papel de sus clientes, lo que tiene un impacto directo en la colaboración BIM.

### **Procesos de colaboración**

- **Normalización** En la actualidad, hacen falta documentos BIM que podrían proporcionar instrucciones sobre la aplicación y el uso de la metodología, y sobre cómo BIM puede integrarse con las prácticas organizacionales. Los actores adoptan BIM solo en función de su propia definición, lo que da como resultado una baja eficiencia cuando cooperen los demás interesados. Por lo tanto, para evitar esta dificultad, es necesario estandarizar el proceso BIM y definir las pautas para su implementación.
- **Participación de usuario.** Según Shang y Shen (2014), Erdogan (2008) manifestó que los proyectos sin éxito son generalmente debido a que los usuarios se mantuvieron alejados de todas las decisiones en la fase de diseño y construcción. Con la revisión, sugerencia y comentarios del propietario, los consultores pueden comprender mejor los requisitos de este y ayudar a garantizar que el proyecto esté marchando en el camino indicado.

De acuerdo con lo anterior, la investigación determina que en la industria de la construcción la falta de interoperabilidad en BIM no está asociada únicamente a aspectos tecnológicos si no también organizacionales. Las faltas de integración de los entornos de trabajo desde fases tempranas del proyecto desenlazan en grandes problemas en etapas maduras del proyecto.

### 3.3 Problemas de interoperabilidad entre disciplinas en el entorno BIM

La falta de definición de unos protocolos claros de intercambio es considerada como uno de los mayores factores que dificultan la interoperabilidad entre las diferentes herramientas usadas por las diversas disciplinas que interviene un proyecto de edificación, lo cual se refleja en pérdida de información en los procesos de exportación e importación desde el software BIM de autoría y esto dificulta el adecuado desarrollo del diseño en particular.

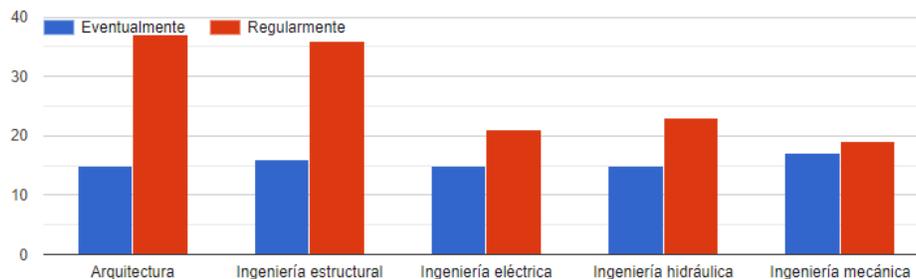
Sin embargo, las dificultades también se presentan por falta de conocimiento de los procesos por parte de algunos usuarios BIM, lo que conduce a la persistencia de mantener una comunicación entre los diferentes actores a través de plano DWG exportados del modelo BIM, aun cuando los diferentes disciplinas hacen uso de plataformas BIM, lo que en efecto lleva a los mismos problemas de comunicación que se han tenido en la industria de la construcción a lo largo de los años.

### 3.3.1 La interoperabilidad para el cálculo estructural

La interoperabilidad para el cálculo estructural es una de las primeras actividades que se lleva a cabo en el desarrollo de un proyecto de edificación, por ello, el ingeniero estructural es uno de los principales actores que intervienen en la evolución del proyecto, donde la comunicación inicialmente se establece con la disciplina de arquitectura (además del cliente o quien lo contrata), pues del planteamiento arquitectónico se desprende la información necesaria para iniciar sus actividades.

La comunicación entre el arquitecto y el diseñador estructural es constante, de hecho, son las disciplinas que mayor información intercambian en el proceso de diseño de una edificación, así lo refleja la encuesta realizada por la presente investigación (imagen 30) (ver anexo 1, pág. 323). De las definiciones arquitectónicas y estructurales dependen otros diseños como el eléctrico, hidráulico, mecánico y demás, ya que de los resultados de esos diseños se determinan lineamientos como ubicaciones de ductos, pases entre losas, recorridos de sistemas de tuberías sobre los cielos y placa, y otras definiciones.

*Imagen 30: Intercambio de información entre disciplinas*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Por tanto, se considera a las disciplinas antes mencionadas (arquitectura y diseño estructural) como las principales que intervienen en un proyecto típico de edificación. Además, es interesante observar que estas mismas en los resultados de la encuesta son las que mayor han adoptado la metodología BIM a nivel local.

Lo anterior es importante porque del modelo arquitectónico se origina la información necesaria para el cálculo o análisis de las estructuras (Ren et al., 2018), y del buen desarrollo del modelo arquitectónico puede depender una adecuada comunicación y un flujo de trabajo eficiente. Sin embargo, las dificultades se presentan cuando el

modelo arquitectónico se muestra sin muchas consideraciones del análisis estructural, por ejemplo, los elementos que son considerados de carga o estructurales no se definen paramétricamente en el modelo como tal. Además, las herramientas usadas por los arquitectos e ingenieros suelen ser diferentes lo que también conduce a la pérdida de información, inconsistencia y redundancia en los datos, lo cual lleva a problemas de interoperabilidad entre software, y a los usuarios a persistir en compartir los datos del modelo en los formatos tradicional de intercambio, tales como DWG, DXF y PDF.

No obstante, ese modo de transferencia en 2D conduce a los muchos errores mencionados a lo largo de la investigación, además genera un aumento en los esfuerzos, ya que, para el cálculo estructural, el ingeniero requeriría luego de recibir los planos en DWG, modelar nuevamente la información en un software como Robot Structural, ETABS o SAP 2000 para simular las cargas estáticas o dinámicas del proyecto.

En este sentido, las oportunidades y los beneficios que se logran a través del uso de BIM y la transferencia de modelos de información, está en la capacidad de poder comunicar la información a través del modelo 3D, y así poder procesarlo e iniciar las actividades a partir de lo recibido. Esto significa un ahorro en tiempos de tiempo porque no se requerirá modelar nuevamente la información a través de planos DWG, además de la certeza que se obtiene sobre la información recibida.

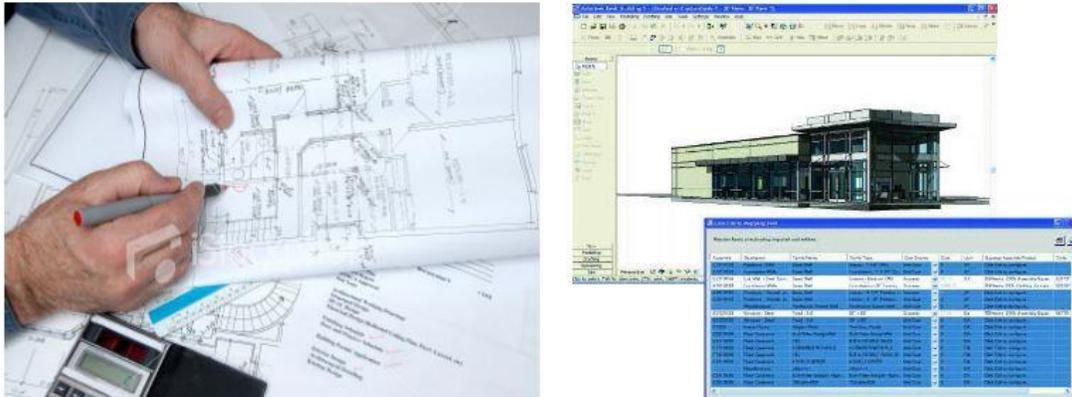
Sin embargo, lo anterior requiere de la producción de modelos confiables, desarrollados bajo protocolos básicos de producción y de una comunicación concertada con la disciplina con quien se interactúa para así satisfacer sus necesidades. Además de laborar bajo otras ópticas, se requiere del uso de formatos abiertos que estimulen la interoperabilidad tecnológica entre las herramientas donde OpenBIM se presenta como el mejor escenario.

### **3.3.2 La interoperabilidad para la gestión de costos**

La cuantificación de los costos, es un proceso que tradicionalmente se ha hecho en base al conteo manual de cada uno de los elementos que componen la edificación, generalmente haciendo uso del papel o aplicaciones CAD como el medio para identificar medir y calcular lo que se requiera, para así, plasmar las mediciones en hojas de cálculos u otras aplicaciones de costos que se usen para producir las estimaciones de los costos del proyecto, tal como lo refleja la imagen 31. Sin embargo, los sistemas usados en este proceso dependen en un alto porcentaje de las acciones humanas para asignar la información del diseño, la cual, eventualmente no está asociada a los dibujos del proyecto o los modelos BIM. Y

esto lleva a esfuerzos redundantes al integrar manualmente la información del diseño e identificar problemas asociados con la sincronización de varios sistemas y procesos (Eastman et al., 2011).

*Imagen 31: Estimación de costos de manera tradicional vs cuantificación de costos basado en modelos BIM*



*Fuente: (Sabol, 2008)*

Frente a lo anterior, se ha mencionado a lo largo de la presente investigación que BIM ofrece todo el potencial para generar despliegues, recuentos y mediciones directamente desde el modelo integrado y sincronizado, lo cual, permite una cuantificación precisa y automatizada, además, ayuda a reducir significativamente la incertidumbre en las estimaciones de los costos. Lo que significa un beneficio importante para la industria, en términos de productividad, disminución de esfuerzos, de costos y demás (Sabol, 2008).

No obstante, para lograr lo anterior, las empresas que emplean BIM y colaboran en la ejecución de una edificación, necesitarán desarrollar métodos y estándares que establezcan los objetos que den respaldo a los nivel de detalle requerido para la estimación de los costos a través de los modelos BIM, así como también proporcionar una fuente única de comunicación para suministrar la información consistente y requerida por cada uno de los usuarios (Sabol, 2008).

Pues, las dificultades que se pueden presentar en un entorno de trabajo BIM, están totalmente ligadas a los aspectos culturales, tanto de las organizaciones como de los mismos profesionales que lideran los procesos. Por tanto, la falta de estándares contractuales, como los Planes de Ejecución BIM (BEP), protocolos de comunicación y demás documentos que ayuden a guiar la colaboración entre las

compañías, son una de las mayores dificultades que recaen sobre la gestión de los costos.

Las malas prácticas en el modelado de un proyecto de edificación llevan a aumentar los esfuerzos de cada una de las organizaciones, incluso, en ocasiones, un modelo arquitectónico o de otra disciplina mal desarrollado puede no ser útil para la extracción de las cantidades. Y esto lleva a un departamento de presupuestos a realizar esfuerzos que podrían evitarse siempre y cuando las reglas del “juego” estén claramente definidas desde un inicio.

En consideración a lo anterior, Tomas Trujillo, director del departamento de diseño de construcción de la empresa AIA, menciona que los modelos que reciben de actores externos traen mucha información incoherente y redundante. Por tanto, la información que se puede extraer para efectos de la cuantificación puede estar en un rango del 20 al 30% de la generalidad del contenido del modelo BIM. En efecto, Trujillo (2020), menciona que la interoperabilidad en este proceso se logra dar hasta cierto punto y no depende solo de aspectos tecnológico si no también humanos que van enfocados hacia los procesos y la colaboración entre las partes.

En sus propias palabras, Trujillo (2020) dice:

*“En general, el modelo recibido nos sirve muy poco para un tema de presupuesto... Mi postura y la que ha adoptado el proceso de diseño y construcción en AIA es que nunca nos va a llegar un modelo listo para presupuestar y programar porque cada constructor tiene su manera de presupuestar y programar”. (n/a)*

Sin embargo, el experto considera que ningún modelo es “malo”, lo que sucede es que esos modelos tienen unos usos. El problema eventualmente está en que los gerentes de los proyectos no son lo suficientemente claros desde el inicio en establecer cuáles son los objetivos que se buscan con esos modelos, y es allí donde se dan los inconvenientes.

*“Si inicialmente se concibe un modelo para efectos de planimetría o renderizado, pero a la mitad del camino quieres sacarle al modelo información de cuantificación lo más probable es que no sirva y eso es lo que en general nos sucede” (Trujillo, 2020, n/a)*

De lo anterior, Trujillo (2020), también menciona que por parte de AIA, no se espera que del modelo de un diseñador se logren extraer las cantidades perfectas, pues cada constructor tiene su forma de presupuestar y sacar sus ventajas competitivas, sin embargo, considera el mismo experto, que deberían existir unos mínimos de entrega de esos modelos, para que sea un insumo de trabajo y no se genere un reproceso.

Pues, un modelo que ingrese a la compañía con esos mínimos requeridos, es posible tomarlo y parametrizar los componentes adicionales para lograr la cuantificación que se requiera. De un modelo recibido con esas condiciones puntuales, se pueden cuantificar áreas de ventanera, losas, muros, etc. Sin embargo, cuando se entra a más detalle del presupuesto entra en juego la calidad del modelo.

Esa calidad del modelo, en muchas ocasiones depende de otros aspectos formativos y culturales, es decir, a una disciplina como la arquitectura probablemente le interese poco que un muro este modelado y representado por las capas que lo componen, como la pintura, el revoque, enchape y demás, pues su interés principal es que el muro este ubicado en la posición correcta y bajo sus dimensiones indicadas, aun así, cuando se perciba como una masa y este especificado con diferentes acabados. No obstante, el departamento de presupuesto si requiere de esa información para lograr extraer de manera automática la información que le interesa.

En esa misma línea, Trujillo (2020), menciona que hasta el momento no ha llegado un modelo a la compañía que sea 100% compatible con el presupuesto y que no tenga que ser intervenido, es un tema de flujos de trabajo que son distintos en cada empresa. Incluso, ni siquiera los modelos que se generan al interior de AIA son compatibles con sus propios formularios de presupuestos, y esto se debe a que no todas las actividades constructivas son modelables. Por ejemplo, la excavación no se puede modelar, y aunque es posible sacar cantidades, no es un elemento que esté físicamente en el modelo, tampoco es posible modelar perforaciones en piedra, ni tiempo de torres grúas, se pueden modelar estaciones eléctricas, pero no es posible modelar cada cable UTP, cada cable de cobre. En ese sentido, existen un alto número de actividades que no se pueden modelar, y AIA ha trabajado arduamente en poder desarrollar y extraer la mayor información posible de un modelo BIM, aunque hasta la fecha han logrado mantener un 60% del presupuesto relacionado directamente al modelo de información.

Respecto a lo anterior, se ejemplifica lo mencionado a partir de un presupuesto que se desarrolla al interior de la empresa AIA (imagen 32), en que tienen alrededor del 50% de las cantidades extraídas del modelo BIM y el otro 50% no se encuentra modelado, y esto requiere de la introducción manual de esos aspectos que no se logran desarrollar.

Imagen 32: Presupuesto a partir del modelo BIM - AIA

Fuente: Toma de la entrevista con Tomas Trujillo

De tal forma, los presupuestos son realizados a partir del ejercicio de la segregación de los ítems que pueden ser extraídos. Así, se generan en las tablas de cantidades, por filtros de colores como lo muestra la imagen anterior, con los que pueden indicar, si las cantidades fueron extraídas del modelo, si fue un cálculo manual, si hay dudas al respecto, si las cantidades son sacadas con referencia de otros proyectos, si es un ítem que se puede modelar, pero en el momento no está modelado o si definitivamente no se modela y no se cuantifica.

Imagen 33: Ejemplo de cantidades no extraída del modelo-AIA

4.2	SALIDAS PARA TOMAS DOBLES MONOFASICA CON POLO A TIERRA EN MURO (INCLUIDA ENTRE OTRAS FUNCIONAMIENTO, NORMA, REGULADAY EMERGENCIA), INCLUYE CONDUCTOS, PASE, CONDUCTOR NEUTRO Y CONDUCTOR TIERRA AISLADO VERDE (HASTA EL DUCTO EN TECHO) LIBRE DE HALOGENOS, TUBERIA, ACCESORIOS Y MARCACIÓN DE SALIDA	UN	934	97.106	\$90.697.004
4.2	SALIDA TOMA TRIPOLAR 2F+T 208V/20A INCLUYE TUBERIA Y ACCESORIOS, INCLUYE CONDUCTORES PASE Y TIERRA AISLADO VERDE (HASTA EL DUCTO EN TECHO)LIBRE DE HALOGENOS,TUBERIA, ACCESORIOS Y MARCACIÓN DE SALIDA	UN	27	\$128.739	\$3.475.953
4.3	SALIDA TOMA TRIFASICA 208V/50A (CON CONDUCTORES 3X10+1X20T AWG) LIBRE DE HALOGENOS, INCLUYE TUBERIA Y ACCESORIOS	UN	0	232.369	\$0

Fuente: Fuente: Toma de la entrevista con Tomas Trujillo

Por ejemplo, el ítem “salida de toma tripolar 2F+T 208V/20A” señalada en la imagen 33, se considera un concepto abstracto. La salida no es un tubo, no es una toma,

no es un swiche, ni tampoco un foco, pues la salida es la instalación del tubo desde el punto donde se conecta él toma hasta la bandeja cortacables principal, con su caja, con su cable y su mano de obra, razón por lo cual no es posible contemplarlo en modelo BIM, ni mucho menos solicitárselo al diseñador.

De acuerdo a lo anterior, y a lo expuesto por Trujillo (2020), la interoperabilidad en los costos de un proyecto desarrollado bajo la metodología BIM, requiere de un proceso lógico y debe existir una intermediación entre los que elaboran los presupuestos y los diseñadores, con el propósito de identificar y establecer quien genera la información y como la genera en función de quien la necesita.

Como AIA, muchas compañías están convencidas del potencial que brindan las herramientas y del aumento de la productividad que estas le permiten, sin embargo, esto no deja de lado, que aún existen intervenciones humanas en los presupuestos de obra realizados a partir de modelos de información, pues de estos se quedan datos sin extraer, dado las diversas situaciones. Y es “irresponsable” extraer la información sin que el modelo pase por un proceso de análisis y de validación.

Por tanto, la interoperabilidad en los costos en un entorno BIM dentro de un país como Colombia es difícil que se de en su plenitud, pues está sujeta a los métodos de presupuestación de cada empresa, aunque esto no quiere decir que se pueda llegar hasta el punto en el que lo entregado por el diseñador cumpla con todas las condiciones que necesita el presupuestador. Esto demanda como país grandes avances de estandarización y, que, aunque no es una tarea propia de BIM, si lo afecta de manera directa. A diferencia de países europeo que involucran estándares de codificación como el Oniclass, el Unifomat, buscando métodos más eficientes en función de unificar el lenguaje en el sector y hacer los procesos más simples, a diferencia del caos que existe en Colombia y de las miles formas de cuantificar y medir cada componente de un edificio.

### **3.3.3 La interoperabilidad para la programación de obra**

La interoperabilidad en la programación en el entorno BIM está muy ligada a todas las consideraciones anteriores, aquí también entran en juego las definiciones contractuales, las prácticas de modelado, las políticas organizacionales y las buenas relaciones humanas.

Por ello debe existir en las organizaciones rigurosos procesos y controles de calidad que ayuden a identificar y determinar si los modelos recibidos cumplen con el propósito y el objetivo que se busca.

Lo anterior, para una compañía como Arquitectura y Concreto (AyC) de la ciudad de Medellín, es supremamente importante, así lo menciona Sebastián Angarita, coordinador del área de BIM de programación y presupuesto.

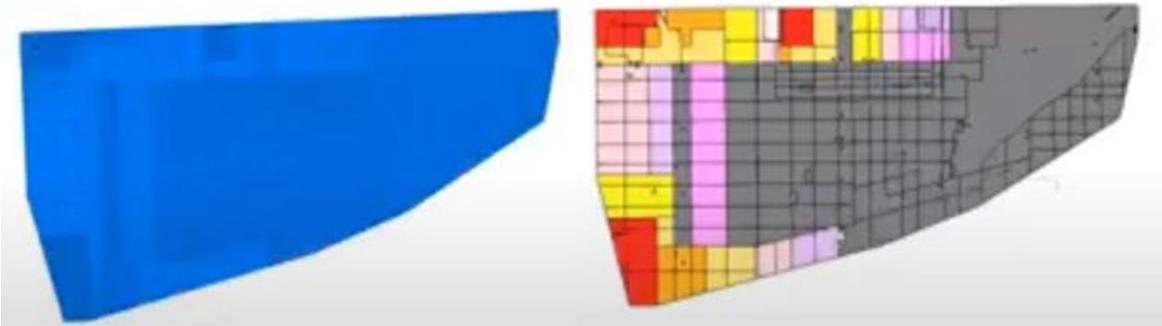
Cuando la empresa AyC recibe el modelo BIM de una disciplina con la que colabora, inicialmente se hace una revisión en función de lo acordado y pactado mediante el PEB que se comparte con anterioridad. En caso de que cumpla con las condiciones solicitadas, se le permite pasar a la siguiente fase, aunque, en caso contrario, lo recibido será devuelto con las observaciones al diseñador. Sin embargo, ese retorno del modelo está sujeto tanto a los tiempos del cliente y del proyecto como a los internos de la compañía, pues los modelos, internamente deben pasar por otros procesos antes de la programación como la coordinación técnica y la estimación de costos de la obra, y en ocasiones los tiempos no “cuadran”, y si es así los modelos no podrán ser devueltos al diseñador. Lo que significa que AyC hace los ajustes correspondientes al modelo, siempre y cuando sea “rescatable” y los ajustes mínimos, así lo menciona Angarita (2020).

Al igual que Trujillo (2020), Angarita (2020) considera que los modelos BIM son fiables hasta el punto que se cumplan con los protocolos y los mínimos requeridos, aun así, el constructor requiere subir el nivel de detalle de los modelos BIM en función de sus necesidades, y para esto, se requiere que exista un cierto nivel de interoperabilidad y uso de OpenBIM, en el que el modelo recibido sea un insumo de trabajo, a partir del cual se puedan ejecutar y desarrollar las labores correspondientes, es decir el modelo BIM debe tener la capacidad de poder “navegar” a lo largo del ciclo de vida del proyecto, y debe estar desarrollado de tal forma que permita llegar a su maduración a partir de la manipulación que cada actor requiera darle, independientemente de las herramientas que use, eso es interoperabilidad.

Un ejemplo de lo anterior, es el caso del proyecto Mall Plaza Cali desarrollado por el departamento de construcción de la empresa AIA. Trujillo (2020), menciona que al recibir el modelo y luego de pasar por un proceso de revisión, vieron que el modelo BIM no les era útil para realizar la programación de la obra, sin que esto significara que estuviera mal, pues este ya había cumplido su propósito inicial que era el de la coordinación del proyecto, aun así el modelo contenía las condiciones mínimas requeridas que eran: el buen uso de las entidades de modelado (los muros estaban modelados con la herramienta de muros, las losas con la herramienta de losas, las puertas con la de puertas, etc.), modelado por niveles, muros definidos por tipologías y funcionalidades, etc., lo que permitió parametrizar ciertos elementos adicionales para desempeñar su parte en el proceso.

Lo que se muestra en la imagen 34 es la losa de un determinado nivel del proyecto mencionado. Lo recibido y lo modelado por el diseñador estructural era un único elemento que representaba la enorme losa de 14.000 m<sup>2</sup> (losa de color azul), sin embargo, en una actividad como la del vaciado, esta gran superficie no puede ser fundida en un solo día, ni bajo una sola escuadrilla, por tanto, el constructor requiere segregar la misma en función de la programación de la actividad, así como lo muestra la misma imagen 34. Los cuadros de colores identifican el estado de la actividad de acuerdo a lo programado en volumen de losa vaciada, losa por vaciar la semana siguiente, losa por vaciar en 2 semanas, etc.

*Imagen 34: Programación del vaciado de losa*



*Fuente: Toma de la entrevista con Tomas Trujillo*

Lo anterior también puede darse en cualquier otra actividad, por ejemplo, en la ejecución de un muro que tiene 50 mts de longitud y que se representa de igual forma en el modelo BIM (un elemento continuo), debe existir la capacidad de segregar el elemento por parte del constructor en función del rendimiento y la programación de la tarea. En caso de que el rendimiento de ese muro sean 10 m<sup>2</sup> construidos al día, de la misma forma se debe dividir el elemento, para programar la totalidad de su ejecución en 5 días.

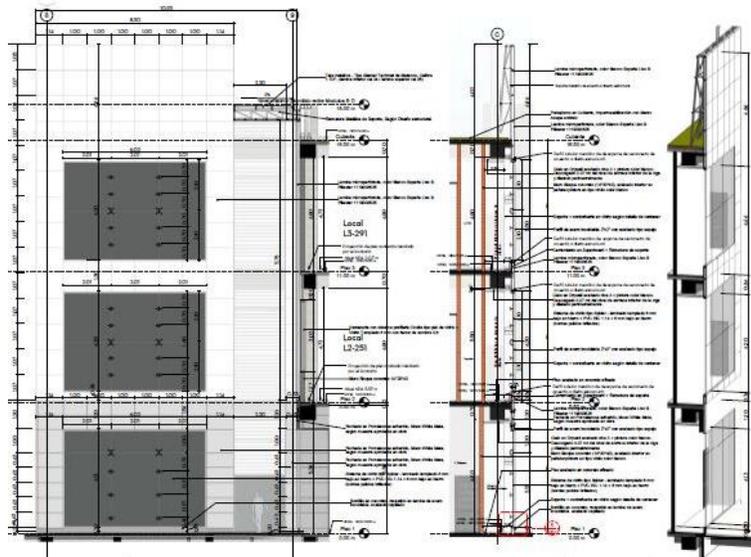
De acuerdo a lo expuesto, esa manipulación debe existir porque la programación es parte de la propuesta de cada constructor, es su forma de analizar y abarcar la construcción la obra, y no es un asunto que le corresponde al diseñador dado su desconocimiento del proceso.

Ahora, en caso de que el modelo se encuentre desarrollado de manera incorrecta, por ejemplo, la misma losa modelada como un elemento de masa o el muro desarrollado con cualquier otra herramienta diferente, no hubiese sido posible realizar el proceso de programación y segmentación, ni mucho menos el de una cuantificación, y allí el proceso se rompería o requiere de esfuerzos mayores.

Por otra parte, Trujillo (2020) menciona que existe ciertos niveles de intereses sobre los modelos BIM de cada especialidad, en el caso de un modelo arquitectónico del cual pueden se puede extraer al rededor del 60-70% de la información de la obra y del cual se dividen alrededor 50 contratos diferentes como de revestimientos, pisos, carpintería metálica, cielos, mobiliario, y demás, debe existir una mayor exigencia. Y así lo ha aplicado AIA, sobre lo producido por la disciplina de arquitectura se da un mayor control y posesión en los procesos, porque es la mayor base de información para contratos, presupuestos y programación. A diferencia de un modelo eléctrico, por ejemplo, del que se gestiona bajo un solo contrato en obra o máximo 3 contratistas, y el nivel por unidad por cada elemento programado es muy inferior al de los acabados arquitectónicos.

### **3.3.4 La interoperabilidad para la arquitectura de detalle y solución de sistemas complementarios.**

La producción arquitectónica de detalles particulares requiere de una ardua comunicación entre el arquitecto desarrollador y los proveedores o fabricantes de algunos elementos especiales, todo con la intención de que lo producido o puesto en obra cumpla con las intenciones arquitectónicas acordadas y definidas: materialidades, colores, alturas, espesores, etc. La imagen 35, refleja el detalle de una fachada de un proyecto en particular que está compuesta en el primer piso por un revestimiento de porcelanosa y sobre los demás niveles la fachada se encuentra revestida con una lámina microperforada, además de su ventanearía. Aquí deben garantizarse varias condiciones, en especial los plomos entre los materiales, lo que significa, que un material respecto al otro debe cumplir ciertas condiciones, que en este caso la porcelanosa nunca debería sobrepasar el espesor del revestimiento metálico con todos sus soportes y demás, esto para garantizar la vida útil del revestimiento de primer piso.

*Imagen 35: Producción de detalles arquitectónicos en Revit*

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, se produce inicialmente el detalle arquitectónico para luego emitir la información a cada uno de proveedores, en este caso a 3 fabricantes diferentes, el de la ventanería, la porcelanosa y el del revestimiento metálico. No obstante, esa comunicación depende del flujo que se haya definido para el proyecto en particular, como puede ser el caso que la comunicación entre los proveedores y el arquitecto sea sin intermediarios, como también puede darse otro modelo comunicativo en que el interventor actúe de intermediario en representación del cliente en términos técnicos para verificar que el constructor si cumpla con las necesidades del proyecto y del cliente.

Sin embargo, este último modelo de comunicación en que el arquitecto envía la información al interventor para que lo revise y lo apruebe para así emitirlo a la obra o los proveedores, ha sido visto como una dificultad de la interoperabilidad dentro del entorno BIM para una empresa como AyC, ya que el interventor no suele usar herramientas BIM y plataformas en la nube, si no que persisten en mantener los métodos tradicionales de comunicación manteniendo la información en el correo electrónico y de esa misma forma emitirla a quien le interese, a través de email. Pues para AyC, el proceso ideal sería que los diseñadores montaran la información en la plataforma en la nube y darle acceso a todos los involucrados, incluyendo los fabricantes, para así mantener una información actualizada de acuerdo a los cambios arquitectónicos y demás diseños, y que a partir de esa misma plataforma el interventor pueda aprobar la información. Con esto se buscaría que todo el filtro

sea la nube y no un particular ya que, al ser un particular ha representado un obstáculo para la implementación de BIM porque la figura que está en el centro de la comunicación podría desvirtuar las intenciones que AyC plantea en su modelo ideal, así lo manifiesta Angarita (2020).

Además, la dificultad de la interoperabilidad con los proveedores está sujeta a las mismas condiciones que con los demás actores, y el mayor problema recae en la persistencia de mantener los métodos tradicionales de comunicación y gestión de información aun cuando se desarrolla el proyecto en una plataforma BIM, pero la información se comunica mediante planos DWG a través de correo electrónico, pues esto, está sujeto de igual forma a errores en la producción por trabajar con información desactualizada, falta de comunicación en relación a los cambios y demás. Para un fabricante al igual que para la obra, lo anterior significa impactos económicos por demora en los tiempos, errores de fabricación que conducen a rehacer las piezas, entre otros problemas.

### **3.4 Los costos asumidos por la falta de interoperabilidad en el campo de la construcción**

Durante la década de 1990, la industria de la construcción estadounidense fue el único segmento de la economía que experimento una disminución de la productividad. El estudio realizado por *National Institute for Standards and Technology* (NIST) estimó que el costo de no disponer de una interoperabilidad eficiente en el sector del mantenimiento del mismo país es de aproximadamente 15.8 mil millones de dólares por año (Mourshed, 2006). Lo que equivale al 1-2% de los ingresos anuales de la industria (Laakso y Kiviniemi, 2012). Más de US \$ 10.6 mil millones, aproximadamente, el 68% del costo fue financiado por los propietarios/operadores y el resto fue asumido por otras partes interesadas (Mourshed, 2006).

Los resultados, además reflejaron que debido a la ineficiencia de la interoperabilidad se dio un aumento en los costos de la construcción de \$ 6.12 por pie cuadrado de nuevas edificaciones y un aumento de \$ 0.23 por pie cuadrado para operaciones y mantenimiento (OyM), lo que dio como resultado el costo total antes mencionado (Eastman et al., 2011). La Tabla 2 muestra el desglose de estos costos asociados a las partes involucradas.

*Tabla 2: El costo de una inadecuada interoperabilidad en el sector de la construcción, durante el ciclo de vida del proyecto ( En millones de dólares)*

Grupo de partes involucradas	Fase de Planificación y diseño	Fase de construcción	Fase de operación y mantenimiento	Total
Arquitectos e ingenieros	1.007,2	147,0	15,7	1.169,8
Contratistas generales	485,9	1.265,3	50,4	1.801,6
Contratistas/ Proveedores especiales	442,4	1.762,2	---	2.204,6
Los propietarios y operadores	722,8	898,0	9.027,2	10.648,0
Todas las partes interesadas (Total)	2.658,3	4.072,4	9,093.3	15.824,0

*Fuente: Tomado y traducido de Mourshed (2006)*

El informe NST también menciona que el 85 % de los costos de operación y mantenimiento, aproximadamente \$ 9 mil millones de dólares fueron asumidos por los propietarios / operadores (imagen 36). Esto por falta de una mayor gestión en etapas tempranas del proyecto como en la del diseño y la construcción del inmueble. Las dificultades de transferencia de información, los problemas de comunicación, la falta de estándares y de una supervisión durante cada etapa del ciclo de vida se suman a las dificultades de las etapas iniciales (Mourshed, 2006).

Imagen 36: El costo de una inadecuada interoperabilidad en el sector de la construcción, durante el ciclo de vida del proyecto ( En millones de dólares

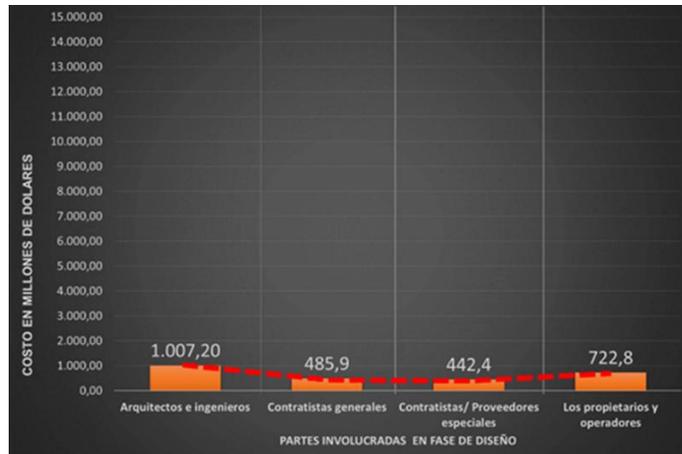


Fuente elaboración propia de acuerdo a datos de Mourshed (2006)

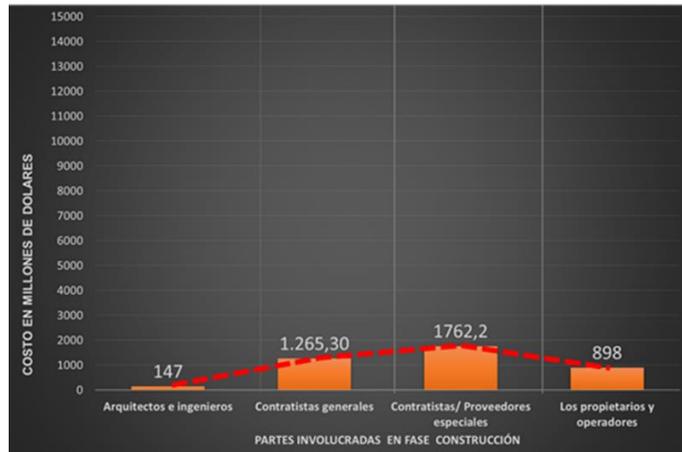
Como lo muestra el gráfico de la imagen anterior, los costos derivados de las dificultades de una interoperabilidad eficiente de la fase inicial de proyecto aumentan exponencialmente a medida que avanza el ciclo de vida de la edificación. Además, las responsabilidades y las implicaciones en términos económicos de cada uno de los actores involucrados varían en función de la etapa del proyecto. Así lo refleja la imagen 37.

Imagen 37: Los costos asumidos en por una inadecuada interoperabilidad en las diferentes fases del proyecto

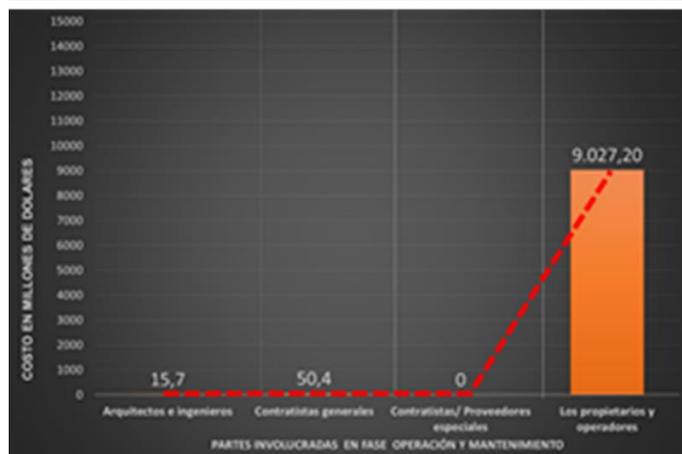
a) Costos en millones de dólares asumidos en la etapa planeación de diseño



b) Costos en millones de dólares asumidos en la etapa de construcción



c) Costos en millones de dólares asumidos en la etapa de operación y mantenimiento



Fuente elaboración propia de acuerdo con datos de Mourshed (2006)

En relación con lo anterior, y de acuerdo a la imagen 37, en la etapa de planeación y diseño los mayores costos por la inadecuada interoperabilidad son asumidos por los arquitectos e ingenieros, quienes son considerados como los actores de mayor responsabilidad frente al proyecto, y esto hace que las dificultades de la comunicación entre ellos durante las etapas iniciales recaigan sobre el propietario u operador en fases posteriores, operación y mantenimiento.

El estudio del NIS también considera que la problemática resultante de la deficiencia en la interoperabilidad es en gran parte producto de los ajustes manuales sobre los datos, la duplicación de funciones sobre las organizaciones (doble trabajo) y la continua dependencia de los sistemas de gestión de información basada en papel (Grilo y Jardim-Goncalves, 2010). Grilo y Jardim-Goncalves (2010), consideran tres categorías de costos para caracterizar la problemática de la interoperabilidad en la etapa de diseño: **Los costos de evitación, los costos de mitigación y los costos de retardo.**

**Costos de evitación.** Los costos de evitación están relacionados con las actividades posteriores que las partes interesadas realizan para prevenir o minimizar el impacto de los problemas de interoperabilidad técnica antes de que ocurran.

**Costos de mitigación.** Los costos de mitigación están relacionados a las actividades posteriores que responden a los problemas de interoperabilidad. La mayoría de los costos de mitigación son el resultado de archivos electrónicos o en papel que deben ser ingresados manualmente en múltiples sistemas (reconstrucción de la información) y de la búsqueda en archivos en papel. Los costos de mitigación también pueden provenir de actividades de construcción redundantes, incluidos los costos de material desechado.

**Los costos de retardo** surgen de problemas de interoperabilidad que retrasan la finalización de un proyecto o el tiempo que una instalación no está en funcionamiento normal.

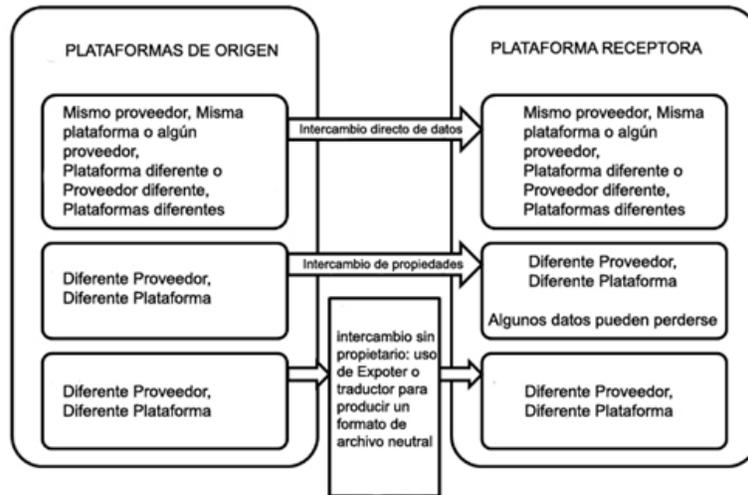
### **3.5 La interoperabilidad requerida entre las herramientas BIM**

#### **Interoperabilidad de datos:**

La interoperabilidad de datos, dentro de un flujo de trabajo BIM, se centra en la capacidad de interpretación de los modelos de información, compartidos y utilizados entre aplicaciones de Software. De acuerdo a Stapleton et al. (2014) podría

determinarse cuatro métodos comunes de intercambio de datos, que se representan en la imagen 38: Intercambio de datos utilizando enlaces de propiedad dentro del software, es decir el intercambio de datos del mismo proveedor; el uso de formatos propios de intercambio de datos; uso de formatos no propietarios y formatos de intercambio basados en XML.

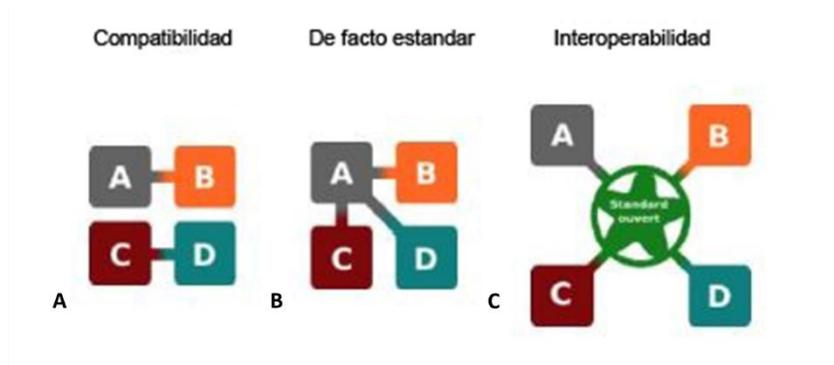
*Imagen 38: Método de intercambio común de datos.*



*Fuente: Tomado y traducido de Stapleton et al. (2014)*

*Imagen 39: niveles de interoperabilidad*

*A: Intercambio directo de datos, B: Intercambio de datos patentada o propietaria, C: Intercambio de datos no propietario*



*Fuente: Tomado y traducido de (Delgado, 2019)*

### **Intercambio directo de datos**

El intercambio de datos a través de métodos directos (grafico A de la imagen 39) se refiere a la capacidad de conexión integrada entre 2 softwares distintos, usualmente de la misma casa fabricante como puede ser Revit-Navisworks (RVT- DWF), Revit – Autocad (RVT-CAD). Esta forma de intercambio de datos se ve obstaculizado por su incapacidad para integrarse completamente con software de otro proveedor. Una posible solución podría ser el uso de una suite principal de software; además Stapleton et al., (2014), menciona que esto podría limitar la innovación y tendría la capacidad para soportar todos los aspectos del ciclo de vida de una edificación.

### **Intercambio de datos patentada o propietaria**

En relación con el uso de formatos de intercambio de archivos patentados (gráfico B de la imagen 39), existe una operatividad limitada de dichos intercambios de datos, ya que solo pueden transferir datos geométricos y no admiten la transferencia de objetos descriptivos enlazados semánticamente (Stapleton et al., 2014). También son desarrollados por empresas comercializadoras de software en el objetivo de establecer una interoperabilidad con las aplicaciones de la misma organización, por ejemplo, el formato Data Exchange Format (DXF).

### **Intercambio de datos no propietarios**

Es un modelo de datos desarrollado en base a estándares abiertos. El formato de datos no patentado más común utilizado en la industria de la construcción es *Industry Foundation Classes* (IFC). Este esquema es una estructura de datos neutral, que define los datos relacionados con objetos, atributos y relaciones contenidos en un modelo de información de construcción, que consta de múltiples vistas que se utilizan para definir los requisitos del conjunto en función de su propósito.

**Formato basado en XML.** Este es una extensión al formato HTML, basado en lenguajes para la Web. Además, permite la definición de la estructura y significado de la información de interés, este tipo de formato permite el intercambio entre una gran cantidad de aplicaciones.

EL uso de formatos no propietarios ha sido identificado como la solución más favorable para la interoperabilidad. Los otros métodos de intercambio de datos están restringidos en términos de flexibilidad, capacidad para entregar datos de objetos inteligentes y transferencia limitada (Stapleton et al., 2014).

## **CAPÍTULO 4: OPENBIM**

El presente capítulo manifiesta la necesidad de usar formatos abiertos en el entorno BIM. Esto dada la creciente demanda tecnológica y el aumento de los datos generados por las partes, los cuales requieren ser transferidos entre una organización y otra para llevar a cabo el objetivo en común, el desarrollo de la edificación, en el que se hace uso de diferentes soluciones tecnológicas de acuerdo a las necesidades empresariales y particulares.

Además, enmarca el concepto OpenBIM como una metodología que fomenta el uso de estándares abiertos, como IFC u otros, como el vehículo de transferencia de información entre las plataformas BIM en un entorno abierto de trabajo, resaltando los retos y las dificultades en el proceso de transferencia de información haciendo uso del archivo IFC particularmente.

## 4.1 El uso de formatos abiertos para mejorar la interoperabilidad

*“El sueño de poder compartir la información de forma universal, independientemente de la tecnología que soporte su almacenamiento, procesamiento o distribución, ha acompañado a la evolución del hombre y al desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) desde sus propios inicios” (González, 2009, p.2)*

Las tendencias actuales producto de la transformación digital, presentan y prometen un mundo donde cualquier contenido de información o servicio está al alcance de las personas en cualquier momento y desde cualquier sitio (González, 2009, p.2); esto ha cambiado las costumbres cotidianas, incluso, los modelos de negocio de muchas organizaciones para poder adaptar esa tecnología a las necesidades cambiantes de los consumidores. Razón por la cual, se consumen en la actualidad menor cantidad de contenidos o películas en CD, o tal vez se va menos al cine porque la misma tecnología lleva a otras costumbres (como ver películas en plataformas digitales desde casa) y a diferentes rangos de posibilidades que obligan a la industria a cambiar ciertas condiciones, pues al final quienes rigen el comportamiento de los mercados son los consumidores (Díaz, 2020).

Aunque lo anterior pareciese estar fuera de contexto, en el campo de la construcción se vive, del mismo modo, una situación de constante cambio de acuerdo a las nuevas necesidades y condiciones del mercado en pro de encontrar el aumento de la productividad que tanto se menciona, y de la búsqueda de nuevas oportunidades que aumenten la innovación en el campo. Y, es tal vez el motivo por el cual diferentes compañías de la construcción se han visto obligadas a adatar nuevas herramientas tecnológicas, a partir de las cuales puedan mejorar sus rendimientos laborales y satisfacer las necesidades de sus clientes.

Plataformas como las de realidad aumentada, impresión 3D, escáner a láser, nubes de puntos, plataformas de contenido en la nube, herramientas paramétricas de modelado 3D, además de otros adelantos tecnológicos, ponen al servicio otras clase de posibilidades, que en definitiva, aumentan las relaciones comunicativas con cualquiera de los interesados, como con los clientes a través de la realidad inmersiva, la disposición de un modelo 3D con grandes contenidos de información que benefician también a los constructores o a cualquier otra disciplina que participa en el desarrollo de una misma edificación. El asunto es que a medida que aumenta la facilidad de adquisición de plataformas tecnológicas existe aún más la necesidad

de interoperar los modelos de negocio y de sus estructuras organizacionales para que todo “engrane” y compagine dentro de los procesos de desarrollo de proyectos particulares. De esa forma, los productos y las interacciones pueden darse de forma regular; en el caso de quien realiza un modelo de información o de un levantamiento por nube de puntos, se puede transferir esa información para que la parte receptora logre a partir de allí desarrollar su lado del proceso, como podría ser la recreación de un escenario virtual, o de la evaluación urbana o del entorno a partir del levantamiento por nubes de puntos o drones, etc.

Si bien, los beneficios y las oportunidades están al alcance de la mano de cierta forma, la innovación se ve opacada si no se logra una comunicación entre las herramientas usadas por cada una de las partes interesadas. Es poco útil disponer de gran cantidad de datos y de información si no pueden ser compartidos, leídos o interpretados por quien le interese.

BIM puntualmente ha sido producto de diferentes investigaciones, con la confianza de que las plataformas que la metodología brinda, permiten, además de aumentar la productividad, atender las dificultades de sostenibilidad a través del diseño de edificaciones más “eficientes” por medio del aumento de la planificación, además de mayores análisis de eficiencia energética, materialidades, rendimiento estructural, automatización de la información, aumento de la precisión de en la fase de fabricación y demás aspectos. Sin embargo, las principales dificultades que se han observado han sido para lograr una comunicación entre las diferentes plataformas usadas por las diversas disciplinas que participan en los procesos (Lobos et al., 2014; Prada et al., 2017). Las herramientas que usan las diversas disciplinas y de otros campos como de Sistemas de Información Geográfico (SIG), análisis de bioclimática, suelen ser diferentes y de distintas casas fabricantes que no dialogan entre ellas (software). Así, quien realiza los análisis energéticos, de suelos, estructurales y demás, no logra comunicar eficientemente su información con las demás disciplinas u organizaciones que laboran. Una situación que lleva además de los errores, a duplicar los esfuerzos empresariales dada la ineficiente interoperabilidad entre los sistemas. Es entonces, cuando se requiere de un lenguaje común o de un formato abierto, que aumente, por un lado, el potencial que brinda en BIM en cuanto al trabajo colaborativo y por el otro, la innovación a partir de la búsqueda de nuevas alternativas y soluciones que beneficien a la industria de la construcción. La falta de un lenguaje común ha llevado a incrementar el problema de los entornos trabajo bajo el uso de plataformas de software de una misma casa fabricante. Una situación que según Díaz (2020), es una mala práctica, pues una

sola herramienta no logra abarcar las necesidades de un proyecto de edificación ni de las partes implicadas. Un asunto que, junto con la fragmentación de la industria, justifican la ausencia de BIM en el sector (Pazlar y Turk, 2008).

Por ello Blanco y Muñoz (2018), mencionan que para lograr el potencial de BIM, la industria necesita un mecanismo sólido para el intercambio de información digital, independientemente del paquete de software o plataforma BIM que se utilice: *“Disponer de un lenguaje común y normalizado para el sector de la construcción es el primer paso para conseguir la ansiada interoperabilidad, pero eso implica poner de acuerdo a todos los agentes”* (Blanco y Muñoz, 2018, p.38)

Aunque el intercambio de información puede realizarse mediante el uso de formatos nativos (plataformas de la misma casa fabricante), a lo que se le puede llamar un entorno de trabajo cerrado, en el que las partes consiguen acceder a la información con mayor “facilidad”, puede significar para muchos una solución a los problemas de interoperabilidad, sin embargo, es una solución a corto plazo, ya que existen una serie de desventajas a las que se ven sometidos. Pues, en este caso, la información esta resguardada en la dependencia de un proveedor de software, quien, si en algún momento llegase a desaparecer por cualquier circunstancia, desaparecería con él la información del proyecto, o menos drástico, podría desaparecer la herramienta bajo la cual se desarrolló el proyecto. En definitiva, existe un riesgo de perder la información a largo plazo, ya sea por las razones mencionadas o tan solo por el cambio de versiones que se dan por las actualizaciones de las plataformas tecnológicas.

Lo anterior, puede ser asumido por un ente privado, trabajar en un entorno cerrado. Pero un sector público no podría correr el mismo riesgo, ni mucho menos favorecer a una marca específica, por tanto, la necesidad de interoperar a través de un formato abierto aumenta.

Así, las alternativas de utilizar formatos abiertos, como los que fomenta Open BIM o el BIM abierto, se ve cada vez más necesario, ya que el equipo de trabajo puede utilizar diferentes soluciones de herramientas. Además, pueden asegurar un resguardo de la información a largo plazo ya que no está sujeto a alguna marca específica, y puede ser sujeto de consultas futuras para cualquier entidad, ante cualquier eventualidad e irregularidad.

## 4.2 Definición y concepto de OpenBIM

*“Se define OpenBIM como un método universal para el trabajo colaborativo de diseño, construcción y explotación de una edificación, basado estándares abiertos para la organización del trabajo, que hace posible la colaboración, interdisciplinar y deslocalizada, de diferentes equipos profesionales utilizando distintas aplicaciones informáticas” (Gea, 2015<sup>a</sup>, p.20).*

OpenBIM es una iniciativa de *BuildingSMART* (Gea, 2015), y corresponde a un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operación de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos. Este enfoque proporciona un flujo de trabajo transparente, que permite la participación de los miembros del proyecto, independientemente de las herramientas de software que utilicen (*BuildingSMART International*, 2020b).

De acuerdo a *BuildingSMART International* (2020b), OpenBIM extiende los beneficios de BIM al mejorar la accesibilidad, usabilidad, gestión y sostenibilidad de los datos digitales en la industria de la construcción. Este enfoque, promueve un lenguaje común para procesos ampliamente utilizados. Con ello, las industrias y los organismos oficiales pueden obtener proyectos comercialmente transparentes, con una mejor evaluación comparativa entre los servicios y con una calidad de los datos asegurada. Proporciona datos duraderos para usar durante todo el ciclo de vida del proyecto, evitando entradas múltiples de los mismos datos y los consecuentes errores.

El objetivo de este movimiento es establecer una plataforma común para el intercambio de información en un lenguaje estandarizado (Pour et al., 2019). Por lo tanto, el OpenBIM solo se hace posible gracias a la existencia de “formatos universales” que permiten estandarizar la información, compartirla, analizarla y establecer informes de datos sin estar sujetos a una marca comercial. Además, las diferentes herramientas operadas por distintas especialidades permiten el desarrollo de un proyecto de manera integral, determinando tareas y objetivos independientemente del software empleado por las diferentes partes implicadas, resolviéndose en una única solución, dando como resultado un “banco de datos” que almacena toda la información referente al proyecto de construcción y mediante un archivo interoperable como IFC, u otros como LandXML (vinculado a la infraestructura y movimiento de tierra) o los estándares ISO 15926-2 de diseño de plantas, es posible traspasar el modelo no editable, a los diferentes involucrados

en el proceso de diseño, sin existir la necesidad de compartir el modelo en formato nativo (Zapata, 2017).

Los principios de OpenBIM reconocen que (*BuildingSMART International, 2020b*):

1. La interoperabilidad es clave para la transformación digital en la industria de la construcción.
2. Se deben desarrollar estándares abiertos y neutrales para facilitar la interoperabilidad.
3. Los intercambios de datos confiables dependen de puntos de referencia de calidad independientes.
4. Los flujos de trabajo de colaboración no deben estar limitados por procesos propietarios o formatos de datos patentados.
5. La flexibilidad de elección de tecnología crea más valor para todos los interesados.
6. La sostenibilidad está protegida por estándares de datos interoperables a largo plazo.

De acuerdo a lo anterior, los beneficios del OpenBIM BIM para la industria de la construcción son (*BuildingSMART International, 2020b*):

- Mejorar en gran medida la colaboración para la entrega de proyectos
- Permitir una mejor gestión de activos.
- Proporcionar acceso a los datos BIM creados durante el diseño para todo el ciclo de vida de la edificación.
- Ampliar y profundizar sobre los entregables BIM al crear una alineación y un lenguaje común al adoptar estándares internacionales y los procesos de trabajo comúnmente definidos.
- Facilitar un entorno de datos común que brinda oportunidades para que los usuarios desarrollen nuevos flujos de trabajo, aplicaciones de software y automatización de tecnología.

### **4.2.1 La alianza internacional para la interoperabilidad**

El tema de la interoperabilidad a partir de estándares abiertos no es nuevo en el sector, pues desde el año 1993 un consorcio internacional conformado por grandes actores de la industria de la construcción de los Estados Unidos (algunas de las principales empresas constructoras, fabricantes de productos, arquitectura, diseño de ingeniería, empresas de consultoría, propietarios y operadores de grandes edificaciones, funcionarios del gobierno, proveedores de software, instituciones de

investigación y universidades) empezaron a debatir la manera de promover la tecnología de datos de información hacia el campo de la construcción y generar de algún modo la compatibilidad entre los sistemas de software.

Es así como este conjunto de actores formó a principios del año 1994, el grupo Alianza de la industria para la interoperabilidad, la cual demostró en junio de 1995 la interoperabilidad entre un grupo de herramientas CAD y simulaciones de sistemas para la industria AEC en Atlanta, Georgia. A finales del mismo año, esta alianza se convirtió en una organización pública, abierta a cualquier miembro de la industria, y se formalizó en una organización global en mayo de 1996. En ese momento el nombre fue cambiado a *International Alliance for Interoperability* (IAI), que significa en español Alianza internacional para la interoperabilidad.

Esta asociación pública sin ánimo de lucro tenía como fin, definir, publicar y promover estándares de interoperabilidad entre los softwares en la industria AEC, bajo el intercambio de datos punto a punto (es decir, intercambio directo de datos entre dos herramientas de software a través de una interfaz dedicada) e intercambio de datos dentro de un conjunto integrado de herramientas que constituyen la interoperabilidad limitada y parcial.

No obstante, el logro de la interoperabilidad solo fue posible cuando el intercambio de información se dio sobre la base de un modelo común de datos entre múltiples herramientas (Laakso y Kiviniemi, 2012). Y se facilitó gracias al desarrollo del primer estándar de intercambio de información generado por IAI, al que denominaron *Industry foundation Classes* (IFC).

De tal forma, IAI anuncia la primera versión del formato IFC 1.0 a mediados de 1996 y es publicada en una guía de usuario, quedando a disposición de los miembros de la organización. Con esta publicación diferentes empresas de Estados Unidos, Canadá y Europa anuncian su intención de hacer compatible su software con la IFC.

Para junio de 1997, el IAI tenía ya siete capítulos en América del Norte, Europa y Asia (junto a tres organizaciones más en Australia y Europa) y un total de casi 500 organizaciones y empresas asociadas.

#### **4.2.2 BuildingSMART International**

En el año 2006 IAI cambió su nombre y la marca del consorcio a *BuildingSMART International* (BSI), un cambio que trajo consigo un mayor énfasis en los beneficios

comerciales de un proceso de diseño y construcción integrada. Fundamental para esta actualización era una reformulación de la visión del consorcio, planteando una nueva visión que va más allá de los aspectos técnicos para enfatizar lo que significa la interoperabilidad para los usuarios y las empresas: “Mejorar la comunicación, la productividad, tiempo de entrega, costo y calidad a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio”. Lo que marcó un cambio en su metodología y enfoque.

En la actualidad, *BuildingSMART* tiene 13 capítulos en todo el mundo, los cuales están representados por dos delegados en un consejo internacional que se reúne dos veces al año para coordinar estrategias comerciales y técnicas (Laakso y Kiviniemi, 2012).

Uno de los resultados de ese nuevo enfoque, fue el concepto de Manual de entrega de información o IDM por sus siglas en inglés de *Information Delivery Manual*, el cual se introdujo en el año 2007 como elemento oficial para la estandarización de IFC. Un IDM pretende ser una referencia integrada para los procesos y datos requeridos por el BIM y debe especificar donde puede encajar un proceso, por qué es relevante, quienes son los actores que crean, consumen y se benefician de la información, que es la información y como los softwares deben soportar los intercambios de información específico. Otro resultado del enfoque de normalización IFC Definición de Vista de Modelo o MVD por sus siglas en Inglés *Model View Definition*, teniendo como objetivo encontrar un equilibrio útil entre los deseos de los usuarios / clientes y las posibilidades de los desarrolladores de software.

### **4.3 El formato abierto de intercambio de datos en el sector de la construcción IFC- *Industry Foundation Classes***

De acuerdo a BuildingSMART International (2008):

*Industry Foundation Classes, “es una descripción digital estandarizada del entorno construido, incluidos los edificios y la infraestructura civil. Es un estándar internacional abierto ( ISO 16739-1: 2018 ), destinado a ser neutral para el vendedor, o independiente, y se puede usar en una amplia gama de dispositivos de hardware, plataformas de software e interfaces para muchos casos de uso diferentes. La especificación del esquema IFC es la entrega técnica principal de BuildingSMART International para cumplir su objetivo de promover el openBIM”.*  
(n/a)

De forma más específica, el esquema IFC es un modelo de datos estandarizado que codifica, de manera lógica aspectos como: La identidad (nombre, identificador

único legible por la herramienta, tipo de objeto o unión), las características o atributos (como materiales, color y propiedades térmicas), relaciones (incluidas ubicación, conexión y propiedad) de objetos (como columnas o losas), conceptos abstractos (rendimiento, costos) procesos (instalaciones, proveedores, etc.).

La especificación del esquema puede describir cómo se construye o cómo se opera una edificación. IFC puede definir componentes físicos de una edificación, productos manufacturados, sistemas mecánicos / eléctricos, así como modelos de análisis estructurales más abstractos, modelos de análisis de energía, desgloses de costos, horarios de trabajo y otros aspectos más (BuildingSMART International, 2020a).

El formato IFC, según (Nieto et al., 2012), es un archivo basado en objetos (muros, losas, columnas, vigas...), cuyo objetivo principal es el de facilitar la interoperabilidad durante el ciclo de vida del proyecto que, además, conserva todas las propiedades geométricas y espaciales de los elementos dentro del modelo virtual. Este formato resulta ser la respuesta a la necesidad de integrar los diferentes lenguajes, espacios y disciplinas que intervienen en el proceso de diseño bajo un entorno de trabajo abierto. IFC, es también el medio por el cual es posible acelerar los procesos y promover la comunicación entre los equipos de trabajo para realizar todos los procesos que involucra el entorno BIM.

Así, una disciplina como la arquitectura, al trabajar en una plataforma como Revit por ejemplo, y el diseñador estructural en un software como Tekla pueden intercambiar la información producida de una misma edificación a lo largo de su ciclo de vida, desde la planeación o viabilidad de los diseños, hasta la construcción u operación del inmueble (Eastman et al., 2011).

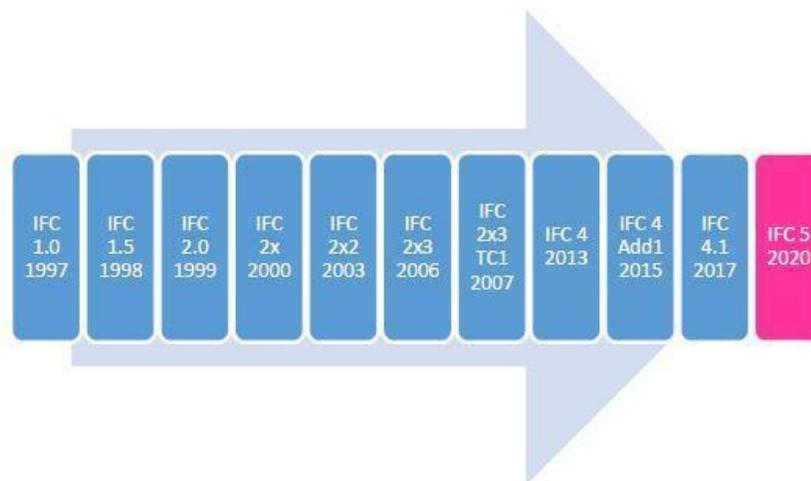
Por tanto, la estructura del formato IFC tiene el potencial de servir como vehículo para lograr el intercambio de información entre las diferentes herramientas de edición BIM (Revit, Archicad, Tekla, Allplan, etc.), lo que puede permitir una elección transparente de los miembros de un equipo de diseño (arquitectos, ingenieros, y demás especialistas) u organizaciones con base a sus habilidades y conocimientos reales y no al uso de un software específico.

El estándar IFC es la clave para aumentar los beneficios que la metodología BIM brinda en cuanto la colaboración y trabajo en equipo sin que exista una dependencia de formatos o archivo concretos. Conscientes de esto, los principales proveedores de software han participado en el desarrollo del formato, y sus productos lo apoyan

(Instituto Valenciano de competitividad empresarial, 2016). Actualmente más de 150 aplicaciones de software son capaces de leer y/o escribir utilizando el formato IFC (Jiménez y Muñoz, 2018) entre las que se encuentran Revit (Autodesk), Tekla Structure (Trimble), Archicad (Graphisoft), Allplan (Nemetshek) y demás.

No obstante, el formato IFC a pesar de sus más de 20 años de desarrollo, sigue siendo un formato que continua en evolución. Desde su origen hasta la actualidad se han desarrollado 7 esquemas IFC (imagen 40): IFC 1, IFC 1.5, IFC 2.0, IFC 2x, IFC 2x2, IFC 2x3 y IFC 4. Esta última versión da una respuesta satisfactoria a los proyectos de edificación, aunque no de la misma forma para proyectos de infraestructura. En la actualidad *BuildingSMART* está ampliando el formato para ser usado en proyectos de carreteras, puentes, túneles y ferrocarriles. Y se espera para este año (2020) el desarrollo del IFC 5 que integrara la ampliación para los proyectos de infraestructura (Jiménez y Muñoz, 2018).

Imagen 40: Evolución de las versiones IFC



Fuente: (Jiménez y Muñoz, 2018)

### 4.3.1 Dificultades en el proceso de transferencia de información haciendo uso de IFC

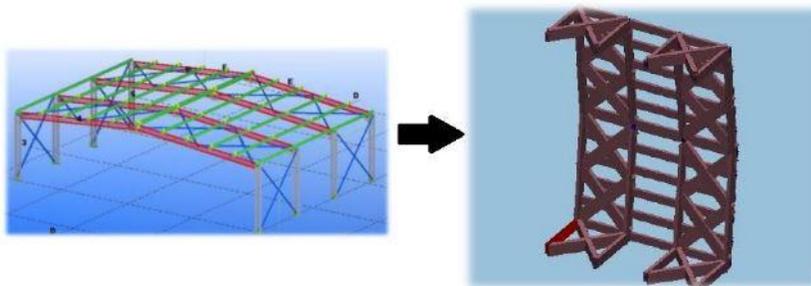
Aunque IFC ha sido un formato de constante evolución, aun muchos usuarios se rehúsan a emplear este estándar como medio de comunicación entre las plataformas BIM; un factor importante que diversas personas consideran como una dificultad en el proceso de intercambio de información basados en modelos BIM es la pérdida de información en los procesos de exportación e importación, (anexo 1, imagen 125, pág. 326). Otros consideran que existe un obstáculo en la limitación de

del IFC para ser editados (entiéndase como capacidad de manipular, agregar información, eliminar información, organizar la información ya existente etc.) y enriquecerlos de los datos necesarios (Jiménez y Muñoz, 2018) . Lo que en algunas ocasiones lleva a creer que el formato definitivamente no funciona o que a los desarrolladores de software no les interesa interoperar bajo formatos Open BIM (Guerra, 2019).

Sin embargo, esas percepciones pueden retribuirse a la falta de conocimientos técnicos o errores conceptuales alrededor del manejo de IFC, pues este a menudo, no resulta ser difícil de usar (Guerra, 2019). La falta de definición de los requerimientos de intercambio orientados a tareas específicas conduce a los traductores de las aplicaciones a una mal interpretación de la información, lo que provoca un intercambio de datos incompletos e incompatibles para las tareas específicas a realizar, debido a la falta de coordinación con respecto a los requerimientos de la información que se va a incluir en un archivo IFC.

Así mismo, Costa et al. (2015), consideraba que el uso de IFC se enfrenta a una serie de dificultades para cumplir el objetivo por el cual fue diseñado. La falta de capacidad de los programas para leer correctamente lo contenido en el modelo bajo el formato mencionado, imposibilita la capacidad de representar la generalidad de un modelo de información, así como lo refleja la imagen 41, la cual muestra una traducción errónea de la geometría de un componente estructural importado en diferentes programas informáticos. Una situación que conlleva a una serie de resultados no deseados: la información tiene que ser remodelada, ya que suelen llegar incompletos los componentes geométricos, con parámetros innecesarios y muchas veces sin propagar la correspondiente restricción, entre otros inconvenientes.

*Imagen 41: Traducción incorrecta de los componentes geométricos*



*Fuente: Yousefzadeh et al. (2015)*

No obstante, Sacks et al. (2010), menciona que un esquema de datos de información (IFC) no es suficiente para transferir y compartir los datos de un edificio, se necesitan estándares de modelado, así como definir claramente la información de un proyecto que deben ser intercambiada en cualquier etapa del proyecto, con el fin de cumplir con lo requerido por la parte que lo necesita, además de los objetos y atributos que se van a utilizar en cada intercambio.

La disponibilidad de un esquema de modelo IFC no proporciona suficiente condiciones para la interoperabilidad y la correcta adopción de OpenBIM, las aplicaciones de software BIM sirven para una variedad de propósitos (compilación de datos, análisis térmico, acústico, fabricación detallada, visualización, gestión de producto, etc) y su representación de datos internos son diferentes, adoptado a sus propias necesidades funcionales (Sacks et al., 2010), es decir, los componentes como muros, columnas, vigas, losas, etc. que se modelan en un herramientas particular, no son leídos de igual forma por otra plataforma BIM; se podrá transferir un muro pero no un pasamanos o una escalera, entre un software y otro, por ejemplo. Por lo cual, sin normas específicas, hay poca uniformidad en el contenido de IFC, que dificulta un intercambio fiable.

Por otra parte, Steel et al. (2012) y Lee, Solihin y Eastman (2019), concuerdan que los principales retos de interoperabilidad giran en torno a la calidad y consistencia de los modelos producidos desde su herramienta de autoría, es decir, si el modelo no se desarrolla adecuadamente desde una plataforma como Revit, Archicad, Tekla, o cualquier otra, al momento de exportar el archivo IFC e importarlo a otra plataforma, se darán dificultades y pérdida de información. Lo que según Solihin et al. (2015), lleva a un alto consumo de tiempo y de grandes esfuerzos manuales por parte de los expertos para reconstruir la información perdida.

Lo dicho por los expertos concuerda con el 59.3% de personas que respondieron en la encuesta de la presente tesis (anexo 1, imagen 125, pág. 326) que las malas prácticas de modelado dificultan los procesos de intercambio de información basados en BIM. En ese sentido los problemas alrededor de IFC no se asocian únicamente en las condiciones técnicas del formato, sino también a las deficiencias dadas en los procesos de creación de los modelos BIM desde la herramienta de autoría (Revit, Tekla, Archicad y otras), lo cual está relacionado con la falta de conocimientos en el manejo de las herramientas, vacíos en los protocolos de modelado, falta de experiencia en el campo de la construcción, lo cual no permite desarrollar modelos fidedignos y confiables.

No obstante, las dificultades de interoperabilidad siguen siendo un problema importante para lograr una comunicación eficiente entre diferentes disciplinas y

herramientas dentro de un entorno BIM (Ciribini, Ventura y Paneroni, 2016). Por lo cual diferentes investigaciones han abordado esta problemática (Pazlar y Turk, 2008; Sacks et al., 2010; Stapleton et al., 2014; Steel et al., 2012; Tchouanguem et al., 2019), lo que resulta de la necesidad de integrar las diferentes disciplinas involucradas en el desarrollo del proyecto.

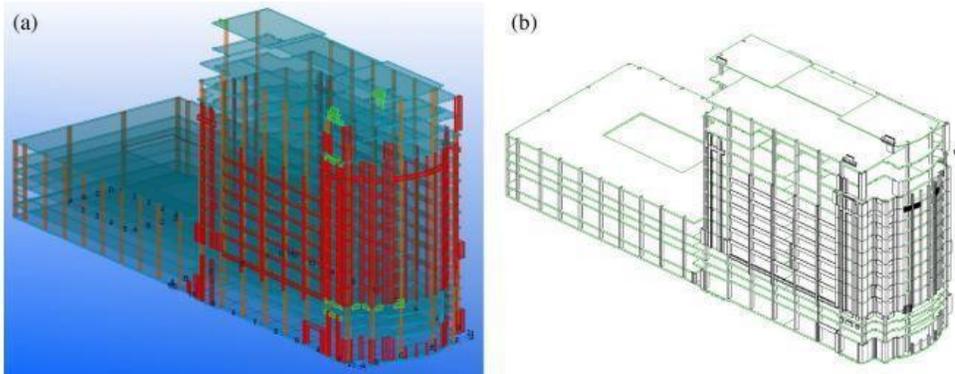
Las investigaciones mencionadas coinciden con las dificultades descritas a lo largo de este capítulo, pues estos problemas han estado presentes a lo largo de los años, incluso, en la actualidad. Los esfuerzos en la actualización de las versiones por parte de *BuildingSMART* buscan realizar mejoras en el formato para superar las limitaciones de la versión anterior y hacer más eficiente la colaboración en BIM. De la forma en que evolucionan los proyectos y se complejizan, de esa misma manera se desarrolla el IFC, de modo progresivo, buscando soportar los flujos de trabajo y la complejidad geométrica que conforma las edificaciones contemporáneas. Es por ello que el formato IFC4 permite representar mejor las geometrías complejas en comparación con las versiones anteriores (2x3, 2x2...) (Autodesk, 2018).

Lo curioso, que de hecho puede relacionarse a una problemática, es que las casas fabricantes de software se tardan mucho tiempo en certificar las herramientas BIM en sus procesos de exportación e importación bajo la versión de IFC mas actual; como bien puede verse reflejado en la imagen 40, la industria está en la espera del formato IFC 5, que promete ampliar la cobertura e integrar los proyectos de infraestructura en OpenBIM, pero aún en los flujos abiertos de trabajo en BIM se soportan bajo el uso de la versión 2x3 desarrollada 14 años atrás, que de hecho es considerada como la más estable ya que la gran mayoría de software están certificada por *BuildingSMART* para hacer uso de esta versión importando y exportando (como es el caso de Revit, Tekla y otras). Razón por la cual la versión IFC4 es poco usada hoy día, aun cuando presenta mayores beneficios que la anterior.

Un caso que resalta las dificultades de la interoperabilidad en el entorno BIM basado en el intercambio de modelos en formato IFC, es el experimento de Palo de Rosa, desarrollado por Sacks et al. (2010). Este, aunque se soportó en la versión de IFC 2x2 considerada para aquel momento la más estable para interoperar en BIM, representa un ejemplo típico de lo que puede suceder en la actualidad haciendo uso de la versión 2x3 (la más estable). Pues las mayores dificultades vistas en este flujo de trabajo y de intercambio de datos en el diseño y la fabricación de fachadas arquitectónicas en la cual se hacía uso de las plataformas Revit y Tekla Structure

(imagen 42) fue la inconsistencia y la información incompleta de los modelos transferidos, lo cual confirma la necesidad de establecer normas de intercambio en BIM.

Imagen 42: a) Modelado detallado de paneles arquitectónicos en Tekla b) Integración de modelo estructural y arquitectónico



Fuente: Sacks et al. (2010)

Las dificultades en el proceso de intercambio de información entre los sistemas de modelado de arquitectura e ingeniería con elementos prefabricados corresponden a la falta de un estándar de BIM que defina la información necesaria para cada escenario de intercambio, qué entidades IFC y qué conjuntos de propiedades se van a utilizar para cada cambio, y cómo deben ser modelados correctamente los edificios para exportar adecuadamente la información. Sin dicha norma el intercambio de información no puede ser completa o coherente, como ocurrió en este caso del experimento (Sacks et al., 2010).

Una de las limitaciones observadas en el ejercicio fue que las aplicaciones de software BIM no permitían la exportación completa de las capacidades de esquema de intercambio IFC. Esto significa que se perdieron datos del modelo a través de cada paso de exportación e importación en ambas direcciones (Sacks et al., 2010).

Entre los problemas encontrados se halló que algunos paneles de fachada con geometría compleja se modelaron en la aplicación arquitectónica con masas y se exportan como elementos IFCProxy, lo que significa que no fueron reconocidos como objetos propios de IFC, lo que se podría considerar la “basura” dentro del esquema. Esto dio lugar a la necesidad de reconstruir los objetos en la ingeniería prefabricada, ya que en la importación del modelo, los elementos de masa no fueron leídos (Sacks et al., 2010).

Los resultados del trabajo anterior han sido de apoyo para la preparación de un borrador del manual de información de entrega (IDM) para estas disciplinas. El IDM

está destinado a formar la base para un estándar BIM en la fachada de hormigón con prefabricados arquitectónicos que con el tiempo se pueden incorporar formalmente en la norma nacional BIM.

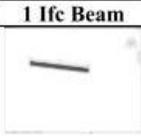
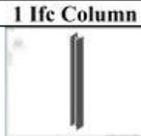
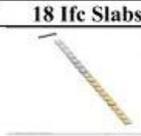
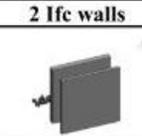
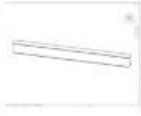
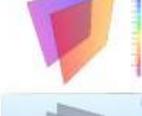
Otro estudio, en la misma línea del anterior, fue basado en la evaluación de la interoperabilidad en el análisis estructural usando las plataformas Revit, y las de análisis Nemetschek Scia Enginner y MasterSeries, mediante un caso de estudio en el que se exploró la capacidad de exportación e importación del archivo IFC entre las plataformas mencionadas, en este caso se usó versión IFC 2x3. Los resultados reflejan la falta de transferencia de datos, traducción errónea (objetos importados de manera diferentes en distintos programas informáticos); las importaciones de los materiales fueron incorrectas y la lectura de algunas familias creadas desde Revit no fueron reconocidas por las plataformas de importación (Yousefzadeh et al., 2015).

De los problemas anteriores, Yousefzadeh et al. (2015), concluye que esas dificultades limitan el éxito de la implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción.

Este tema de la interoperabilidad a través de IFC, también fue desarrollado por Ren et al., (2018), quien buscaba empíricamente probar o evaluar la interoperabilidad en BIM entre el diseño arquitectónico y análisis estructural, usando para esto varios softwares de análisis como ETABS, SAP 2000, Autodesk Robot y Autodesk Revit.

En el experimento, los objetos se modelaron desde Revit, usando cuatro componentes, como vigas, columnas, losas, y muros, considerado suficientes para el ejercicio. Los cuales, se exportaron como archivos IFC versión 2x3, y se importaron a los diferentes programas de análisis estructural (ETABS, SAP 2000, Autodesk Robot). Los problemas causados en ese proceso fueron, por ejemplo, la pérdida de propiedades de material y falta de información de los elementos de carga, lo cual impide realizar el análisis estructural. Otros problemas que se identificaron en el uso de IFC para apoyar la interoperabilidad en BIM, fueron la representación geométrica de algunos objetos y los seguimientos de los cambios entre los diferentes modelos.

Tabla 3: Representación de las entidades e los diferentes softwares utilizados

Entities	1 Ifc Beam	1 Ifc Column	18 Ifc Slabs	2 Ifc walls
Original file in Autodesk Revit 2018				
IFC file exported				
Structural analysis results in ETABS				
Structural analysis results in SAP2000				
Structural analysis results in Autodesk Robot				

Fuente: Ren et al. (2018)

La tabla 3, muestra las diferentes representaciones de los elementos usados en el ejercicio de interoperabilidad a partir de la importación/exportación del archivo IFC en las herramientas mencionadas anteriormente.

Así pues, en relación a los estudios mencionados, la tabla 4 resalta las dificultades en el proceso de interoperabilidad a través de IFC como medio de transferencia de información de los modelos BIM. En este se evidencian las consecuencias producto de la dificultad inmediata.

Entre las mayores dificultades, está la pérdida de información en el proceso de exportación e importación de los archivos IFC, aunque esto no solo se debe atribuir a problemas tecnológicos, existe cierto compromiso y causas humanas que llevan al mal procedimiento.

Tabla 4: Relación de las dificultades en el proceso de interoperabilidad a través de IFC

Artículo	Autor	Problemas evidenciados en los estudios	Consecuencia de los problemas
The Rosewood experiment - Building information modeling and interoperability for architectural precast facades	Sacks et al. (2010)	- Una de las observaciones fue que las aplicaciones BIM usadas no permitían la exportación completa a IFC de todas las entidades del modelo	Perdidas de información en cada paso (exportación/importación)
		Los elementos complejos modelados con "masas" fueron exportados de forma incorrecta, como elementos Proxy	Reconstrucción manual de la información (aumento del tiempo invertido)
Model Interoperability in Building Information Modelling	Steel et al. (2012a)	la falta de definición de contenidos de intercambio orientados a tareas específicas conduce a los traductores de las aplicaciones a mal interpretar la información	provocando un intercambio de datos incompletos e incompatibles para las tareas específicas, debido a la falta de coordinación con respecto a la especificación de la información que se va a incluir en un archivo IFC.
Toward robust and quantifiable automated IFC quality validation	Solihin et al. (2015)	los problemas con el uso de IFC está en la calidad de los modelos producidos desde su herramienta de autoría	Alto consumo de tiempo y de grandes esfuerzos manuales por parte de los expertos para reconstruir la información perdida.
Mejoras para la automatización de procesos en la importación de modelos en IFC	Costa et al. (2015)	Los principales retos de la interoperabilidad giran entorno a la consistencia y calidad de los modelos producidos	La información tiene que ser remodelada ya que suele llegar incompleto los componentes geométricos, con parámetros innecesarios y muchas veces sin propagar la correspondiente restricción, entre otros inconvenientes.
Building Information Modelling (BIM) Software Interoperability: A Review of the Construction Sector Yousefzadeh,	(Yousefzadeh et al., 2015)	falta de transferencia de datos, traducción errónea de los datos (objetos importados de manera diferentes en distintos programas informáticos), Importación con materiales incorrectos asignados, el modelo IFC importado a MasterSeries no pudo reconocer y traducir una de las familias de acero de Autodesk Revit	Inconsistencia en la información, dada la pérdida de datos

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios revisados

De los problemas mencionados anteriormente, expuestos por los diferentes estudios analizados y plasmados en la tabla anterior, es pertinente mencionar y resaltar que los problemas de la interoperabilidad tecnológica no pueden recaer

sobre el uso de IFC, pues como se mostró a través de otros estudios, existen condiciones y habilidades humanas que pueden favorecer o dificultar los procesos alrededor del uso de este estándar. Si bien se dan pérdidas de información geométrica y alfanumérica en los procesos de interoperabilidad, aun cuando se usa la versión más estable del formato y la certificada por las grandes plataformas BIM, se reconoce en las investigaciones que mucha de las dificultades están asociadas a las malas prácticas alrededor de BIM, y ello por supuesto requiere de un compromiso por parte de la industria para estandarizar los procesos de la metodología y establecer protocolos claros de comunicación.

Por otra parte, es pertinente hacer un llamado a las empresas desarrolladores de software, pues ellas también son responsables en la contribución de la anhelada interoperabilidad en el sector de la construcción. Los esfuerzos en el desarrollo de las versiones IFC deben ser reconocidos y adoptados, los softwares deben certificarse bajo la versión más reciente del estándar IFC. La adopción de estos adelantos tecnológicos junto a una práctica colaborativa eficiente se considera como el camino indicado para la interoperabilidad en BIM.

### **4.3.2 Retos para el mejoramiento de transferencia de información a partir de IFC**

Si bien los problemas de la interoperabilidad abarcan aspectos tecnológicos, como la falta de capacidad que tienen los softwares de leer los componentes de un modelo (muros, losas, columnas, vigas, etc.) producidos en una plataforma diferente a la que se importa el archivo IFC, que van más allá del alcance de la presente investigación y de la industria de la construcción en general, pero si es preciso hacer un llamado a los fabricantes de software para mejorar sus aplicación en beneficio del trabajo colaborativo que tanto se desea, así como también lo menciona (Gea, 2015).

Sin embargo, existen otras problemáticas que si es preciso resolver desde el campo de la construcción. La pérdida de información es producto de deficiencia en los procesos, lo cual, lleva creer que la solución es un asunto metodológico, en el que se defina claramente la forma de modelar los elementos de acuerdo a las necesidades de las disciplinas con quien se colabora, además de definir de forma precisa los protocolos de comunicación, es decir establecer: ¿qué información se requiere transmitir?, ¿en qué tiempos? y ¿en qué condiciones?

Superar estas deficiencias requiere de proceso arduo y de un trabajo colaborativo mucho más estrecho, siendo esto quizás uno de los mayores retos. Mediante un trabajo conjunto y estandarizado es preciso compartir y dar soluciones a las dificultades y limitaciones tecnológicas, por ejemplo, en el paisajismo, no existen

objetos IFC que representen los árboles o los arbustos (Steel et al., 2012), lo cual conduce a errores en la traducción de los elementos, pero acordando con la especialidad interesada en la información, se pueden definir el modelar los elementos bajo un tipo de familia u objetos diferente, uno que si permita la exportación, de tal modo que se pueda cuantificar o conocer la ubicación real de los árboles propuestos.

Por tanto, la industria de la construcción se enfrenta a la necesidad de estandarizar los procesos alrededor de BIM, en el que un formato abierto como IFC pueda ser ese vehículo de comunicación interdisciplinar, lo cual aumentaría los benéficos de BIM y por ende el buen uso e implementación de OpenBIM como el esquema abierto y colaborativo de trabajo.

En este sentido, debe existir también, un cambio en la cultura empresarial y organizacional, en la que se alineé cada una de las partes intervinientes en el desarrollo de una construcción a las metodologías empleadas y adoptadas, donde se dé un mayor valor al individuo que a los procesos y las herramientas, es decir, se debe contar con un personal especializado y con experiencia que aporte de manera sustancial a los objetivos establecidos. Para esto las compañías tienen gran responsabilidad de formar a sus colaboradores en la metodología y uso de formatos universales, así obtendrá por parte de los profesionales una alta respuesta frente a las tareas y a los requerimientos exigidos del cliente.

Por tanto, el capital humano juega un papel fundamental en la transformación digital, al ser la comunicación con el entorno de trabajo más fluida se presentan mayores oportunidades a las mejoras de la interoperabilidad. De igual forma se requiere de una alta interacción entre los grupos de trabajo, y valorar más la colaboración y adaptación al cambio. Y es por ello que los métodos de gestión basados en BIM no deben conjugarse con métodos tradicionales, por lo cual se da una mirada a otro tipo de metodologías (como IPD, Scrum) que se puedan compaginar en proyectos cambiantes, inestables, con objetivos difuso, etc.

Cualquier metodología que se pueda conjugar con BIM, debe mantener dentro de sus procesos el uso y la adopción de estándares abiertos, esto con ánimo de compaginar con cualquier organización o equipo de trabajo con el que se interactúe sin que existan exclusiones o preferencias de cualquier tipo.

Al respecto, las encuestas realizadas por la presente investigación (ver anexo 1 imagen 123, pág. 325) evidencian un vacío en el conocimiento acerca del uso de

formatos abiertos por parte de los profesionales participantes. A los participantes del estudio se les pregunto si han utilizado el formato IFC como estándar de comunicación entre las aplicaciones con las demás disciplinas con las que colabora, a lo que el 55.6% dicen no conocer el formato o no usarlo, y esto por supuesto lleva a procesos de gestión erróneos o mantenerse en el uso de un solo software comercial, aspecto que limita la innovación y el trabajo conjunto y comunicativo con otras disciplinas. El porcentaje restante (44.4%) de los participantes que respondieron Si usar el formato tan solo el 13.9% definen los requisitos de intercambio de información de los modelos BIM con las disciplinas con quien colaboran, lo que también demuestra el bajo nivel de estandarización y la poca colaboración que lleva a malos resultado en el uso de dicho formato.

#### **4.4 Otros estándares de intercambio para la gestión de la información y colaboración en un flujo de trabajo BIM**

La actual demanda de eficiencia y sostenibilidad que envuelve no solo al sector de la construcción si no al planeta en general, ha llevado a ciertos dominios de la industria a buscar estrategias para minimizar los impactos al ecosistema, entre esos esfuerzos, además de los conceptos de construcciones verdes y otros, la industria ha visto la necesidad de usar software especializados en cada campo. Pues según Nieto et al. (2012), no es posible hablar de edificaciones verdaderamente eficientes sin hacer uso de unas herramientas que pongan el término de interoperabilidad en todo el centro de la cadena de producción.

En esa línea se encuentra el caso de las herramientas de modelado energético (BEM), dedicadas a la estimación de consumo energético de las edificaciones, las que, durante años, aproximadamente desde los 90, diferentes autores han reconoció la importancia de interoperar con las plataformas BIM. O las aplicaciones de sistema de Información Geográfica (SIG), que permiten a los usuarios analizar la información espacial, editar datos, mapas y demás (Nieto et al., 2012). Herramientas que, si bien responden a áreas puntuales de una edificación, la información que se genera en cada campo requiere ser integrada con la generalidad de la información de la edificación desarrollada.

Y mientras los software enfocados hacia el desarrollo de la arquitectura, ingeniería y construcción logran comunicarse a través de los formatos abiertos IFC, otros campos como los de información geográfica han desarrollado una especificación que facilita la interoperabilidad, denominada lenguaje de marcado geográfico (*Geography Markup Language (GML)*), el cual permite la representación geográfica

del mundo real: ríos, lotes o entidades abstractas, como divisiones políticas (Bello y Pèrez, 2012). Con base en el GML se desarrolló una especificación orientada a la representación de modelos de ciudades 3D virtuales denominada CityGML, el cual permite representar en cinco diferentes niveles de detalle las entidades que normalmente se presentan en un paisaje urbano.

En ese sentido, las comunidades SIG y de la AEC, han encontrado que tanto IFC como CityGML contienen elementos comunes y que, por lo tanto, pueden llegar a constituir un eslabón de integración entre los mundos de los SIG y los sistemas de modelado de información de edificaciones (Bello y Pèrez, 2012).

Por otra parte, y en relación con lo anterior, las herramientas BEP han apoyado su capacidad de comunicación a través de los modelos *Green Building XML* (gbXML). Un esquema abierto desarrollado para facilitar la transferencia de información de construcción almacenados en los modelos BIM a las herramientas de análisis energético.

La Tabla 5, refleja una comparación de forma general, los aspectos de un proyecto que abarcan cada uno de los estándares antes mencionados.

Tabla 5: Formatos de archivo de intercambio BIM-BEP

<b>GML</b>	<b>gbXML</b>	<b>IFC</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Orientación y ubicación</li> <li>-Propiedades espaciales</li> <li>-Información de fenómenos topográficos, como terrenos, vegetación, zonas de agua, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipos de construcción</li> <li>-Orientación y ubicación</li> <li>-Geometría               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Área</li> <li>-Volumen</li> </ul> </li> <li>-Ventanas y puertas</li> <li>-Cargas eléctricas, iluminación y ocupación</li> <li>-Tipo de espacios</li> <li>-Condiciones de contorno               <ul style="list-style-type: none"> <li>-HVAC</li> <li>-Aire interno</li> <li>-Materiales</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Toda la geometría en 3D</li> <li>-Localización de objetos y relaciones entre sí.</li> <li>-Parámetros de cada objeto               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Análisis estructural, mecánico y de energía</li> </ul> </li> <li>Espacios IFC</li> </ul>

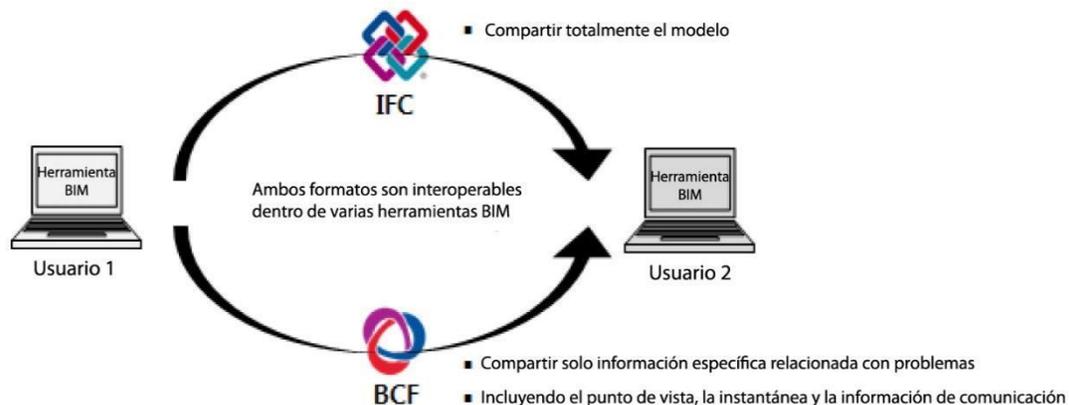
Fuente: Fernandez et al (2019) y (Vera, 2016)

Por tanto, a grandes rasgos se puede establecer inicialmente tres formatos abiertos: los archivos que se basan en una geometría completa para calcular iluminación, luz, sombras, viento/ventilación, ganancia solar. Otro basado en entidades geográficas y del mundo real, que contiene información, en algunos casos un poco más abstracta, y los archivos IFC que se fundamentan en “espacios” que exportan información, no solo para el cálculo térmico, transmisión de radiación solar, demanda emergentica, etc. (Fernandez et al., 2019), sino también, otro tipo de información relacionado a la ubicación, localización y demás componentes que apoyan los diferentes análisis que requiere una edificación.

**BCF-BIM Collaboration Format.**

Dentro del entorno BIM, y bajo el mismo foco de OpenBIM, se ha desarrollado otros estándares que apoyan fases o tareas puntuales durante el desarrollo de una edificación en BIM. Uno de ellos es el formato de colaboración BIM o BCF por las siglas de su nombre en inglés *BIM Collaboration Format*. BCF es un estándar abierto que permite a los diferentes profesionales comunicar los problemas evidenciados en los modelos de información, lo cual se realiza a partir de los modelos IFC generados y compartidos en los entornos comunes de trabajo.

*Imagen 43: Concepto de BIM Collaboration Format (BCF)*



*Fuente: Tomado y traducido de (Lee et al., 2016)*

Con BCF, los usuarios pueden hacer comentarios sobre problemas relacionados al modelo y luego compartirlos con imágenes del problema evidenciado en los modelos. Esto elimina la necesidad de transferir archivos de modelos grandes y ofrece un método de comunicación efectiva para enviar problemas al miembro

responsable del equipo, es decir con quien se esté coordinando la información en su momento (Lee et al., 2016).

La imagen 43, refleja un flujo de trabajo en el que se intercambia la información del proyecto mediante dos estándares abiertos que son interoperables dentro de las herramientas BIM usadas en este caso. El IFC transmitido contiene toda la información del modelo, mientras que el BCF compartido, contiene únicamente la información específica relacionada a algún tipo de problema identificado en el modelo IFC. Al llegar al receptor, el formato BCF podrá conectarse de nuevo al modelo BIM, e identificar de forma instantánea la información específica del objeto y el asunto del problema relacionado.

### **COBie - Construction Operations Building Information Exchange**

COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*) es otro estándar internacional relacionado con la información de activos, cuyo objetivo es la comunicación entre las fases de diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento (BuildingSMART Spain, 2020). Este fue desarrollado por varias agencias públicas de EE. UU. para mejorar el proceso de traspaso de información a los propietarios y operadores de los edificios (Hamil, 2018).

El estándar ayuda a identificar qué activos existen en un edificio recopilando información a través de diferentes fases del ciclo de vida. De esa manera, se obtienen los datos para las operaciones y el mantenimiento, y reduce así la necesidad de buscar correos electrónicos, registros de envío y/o información creada para encontrar información que respalde la toma de decisiones oportuna y efectiva (Casellas, 2018).

Imagen 44: Una hoja de trabajo tipo dentro de una hoja de cálculo COBie

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description	UnitType	Manufacturer	ModelNumber
227 Pre-planted vegetation blankets	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 57 91 65 : Pre-planted vegetation	Pre-planted vegetation blankets			
228 Rootball securing assembly	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 72 : Rootball securing frame	Rootball securing assembly		enquiries@greenleaftrees.co.uk	SASDMA
229 Stakes	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 64 : Stakes	Stakes		sales@jacksons-fencing.co.uk	Tree Stakes
230 Tree grilles	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 87 : Tree grilles	Tree grilles		msf.sales@marshalls.co.uk	OLTG204, OLL
231 Tree guards	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 88 : Tree guards	Tree guards		msf.sales@marshalls.co.uk	OLTR301, OLL
232 Corrosion inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 96 15 : Corrosion inhibitor chemicals	Corrosion inhibitor chemicals	Submit proposals.		
233 Scale inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 96 77 : Scale inhibitor chemicals	Scale inhibitor chemicals	Submit proposals.		
234 Dosing pots	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 97 07 : Biocide dosing pots ; Pr	Dosing pots	Submit proposals.		
235 Gas fired condensing boilers	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 08 34 : Gas fired condensing boilers	Gas fired condensing boilers	Submit proposals.		
236 Storage water heaters, gas fired	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 96 34 : Gas-fired storage water heaters	Storage water heaters	Submit proposals.		
237 Immersion heaters	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 96 42 : Immersion heaters	Immersion heaters	Submit proposals.		
238 Low temperature hot water heaters	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 65 37 47 : Low temperature hot water heaters	Low temperature hot water heaters	Submit proposals.		
239 PVC-U solid wall below ground	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 07 88 : Unplasticized polyvinyl chloride	PVC-U solid wall below ground	Submit proposals.		
240 Covers and gratings for floor gullies	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 24 30 : Floor gully covers and gratings	Covers and gratings for floor gullies	Submit proposals.		
241 Floor gullies	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 24 31 : Floor gullies	Floor gullies	Submit proposals.		
242 Freestanding grease traps and interceptors	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 25 32 : Free-standing grease traps and interceptors	Freestanding grease traps and interceptors	Submit proposals.		
243 Pressure gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 34 66 : Pressure gauges	Pressure gauges	Contractor's choice.		
244 Temperature gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 34 88 : Temperature gauges	Temperature gauges	Contractor's choice.		

Fuente: (Hamil, 2018)

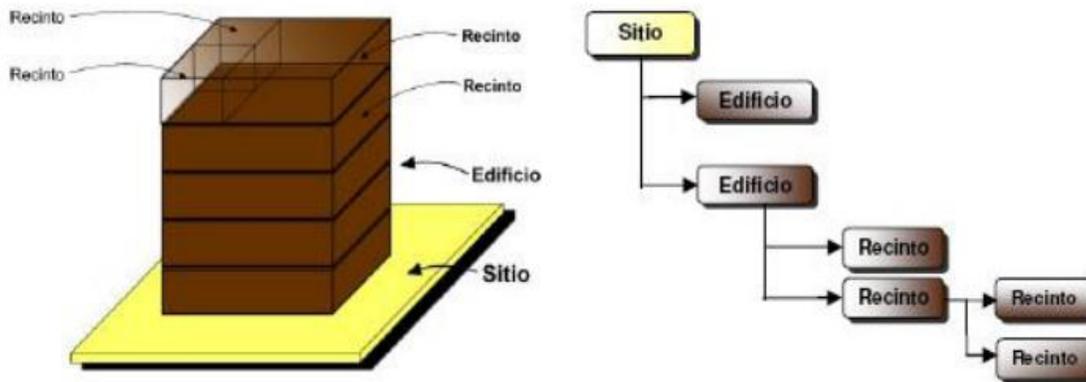
La representación más común del estándar es una hoja de cálculo, tal como lo muestra la imagen 44. La idea principal de este, es que la información clave se extraiga en un formato y sea compartida al equipo de construcción en etapas definidas en un proyecto (Hamil, 2018).

**FIDE - Formato de Intercambio de Datos en la Edificación**

FIDE es un Formato de Intercambio de Datos en la Edificación común entre los diferentes actores del sector de la construcción. Fue desarrollado por la Comisión de Calidad de la Edificación de España con el propósito de facilitar el intercambio de información entre los distintos actores que intervienen tanto en la fase de diseño de un proyecto como en la construcción y operación, además busca optimizar las metodologías de trabajo, y establecer herramientas que permita desarrollar una mayor interoperabilidad basadas en estándares internacionales (Garrido y Muñoz, 2016).

El modelo de datos FIDE es público y está basado en las particularidades, regulaciones y sistemas de construcción propios de España. Sin embargo, está relacionado también con modelos de datos para el sector de la construcción reconocidos internacionalmente, como IFC, con el fin de facilitar su interacción con otros formatos de datos.

Como otros formatos (IFC, por ejemplo), FIDE propone una forma de estructurar jerárquicamente una edificación, con el objetivo de poder organizar la información del proyecto de acuerdo con características de los elementos que componen cada estructura (imagen 45).

*Imagen 45: Descripción del modelo conceptual**Fuente: (Vela, 2016)*

De acuerdo a Vela (2016), FIDE más que una aplicación o un software, es un formato que se dirige a la gestión integral del universo de la información generada en la creación y diseño de una edificación a través de niveles de jerarquización. La metodología de este modelo es aplicada inicialmente en el sector público, buscando un mayor control, uso eficiente de recursos y cumplimiento de la reglamentación vigente en el país.

## 4.5 Iniciativa del sector publico

BSI, junto a diferentes entes gobernantes del mundo, han impulsado el desarrollo de BIM a nivel mundial (Martin et al., 2014), siendo partidarios influyentes de la interoperabilidad basada en IFC en relación a la emisión de requisitos y directrices para el aumento del uso de la metodología BIM, donde IFC juega un papel integral en el mantenimiento de la información abierta y sin propietarios (Laakso y Kiviniemi, 2012).

En 2008, Estados Unidos, Noruega, Finlandia, Dinamarca y los Países Bajos firmaron el “*Statement of intent to support Building Information Modeling with Open Standards*” o la Declaración de intenciones para apoyar el modelo de información bajo estándares abiertos, con el objetivo de impulsar el OpenBIM y mejorar los procesos de interoperabilidad entre las plataformas BIM (Martin et al., 2014).

Los países escandinavos han sido durante mucho tiempo pioneros en relación con la demanda del BIM. Uno de los primeros países comprometidos con el uso de IFC como estándar de interoperabilidad ha sido Finlandia, cuando la agencia de

servicios de la propiedad del senado publicó sus requisitos BIM en el año 2007 y las directrices incluían requisitos para entregas de modelos de información en cumplimiento con los estándares del formato IFC. Otro alto compromiso lo ha dado Noruega en el año 2009, cuyo gobierno nacional organizó el primer concurso internacional de arquitectura para el Museo Nacional de Oslo, donde las presentaciones de diseños fueron aceptadas solo en formatos IFC, recibiendo 237 presentaciones (Laakso y Kiviniemi, 2012).

### **Guías UBIM**

Entre todas las iniciativas por parte de BSI, cabe destacar el aporte de la asociación *BuildingSMART Spanish Chapter*, que bajo el marco del congreso EUBIM 2013 planteó estandarizar BIM a partir del uso de la documentación denominada uBIM, cuyo fin principal era el desarrollo de una guía en español para usuarios BIM. El objetivo de dicho documento es el de poder disponer de una guía estándar de fácil adaptación y en constante evolución con el fin de juntar y coordinar a todas las disciplinas implicadas en el proceso de modelados BIM con garantías de precisión adecuadas para su uso efectivo en el sector de la construcción (BuildingSMART Spanish Chapter, 2014).

De acuerdo a BuildingSMART Spanish Chapter (2014b), los primeros 13 documentos que componen la guía son una adaptación del COBIM finlandés (*Common BIM Requirements 2012*) elaborado por *BuildingSMART Finland* en el año 2012, los cuales han sido adaptados al caso de España, atendiendo a las normativas y estándares actuales mediante un equipo redactor multidisciplinar integrado por expertos en cada uno de los capítulos tratados. El desarrollo de dicha guía se ha llevado a cabo de forma colaborativa, contando con la participación desinteresada de alrededor de 80 profesionales independientes. Estos 13 documentos fueron publicados a finales de 2014.

Posteriormente, en el año 2018, en el marco del Grupo de Trabajo LEGEND-BIM, se ha desarrollado un nuevo documento, la Guía de BIM aplicado al Patrimonio Cultural, en el que han participado de forma desinteresada 40 profesionales independientes.

- D1 - Parte General.
- D2 – Estado Actúal.
- D3 – Diseño Arquitectónico.
- D4 – Diseño de instalaciones MEP.
- D5 – Diseño estructural.
- D6 – Aseguramiento de calidad.
- D7 – Mediciones.
- D8 – Visualización.
- D9 – Análisis de las instalaciones.
- D10 – Análisis energético.
- D11 – Gestión de proyectos.
- D12 – Facility Management.
- D13 – Construcción.
- D14 – Patrimonio cultural.

De acuerdo con las guías, la implementación de BIM requiere de ciertos requisitos técnicos generales para el desarrollo adecuado de un modelo BIM que interopere dentro del marco OpenBIM, entre estos se definen los siguientes:

- Hacer uso de un software con especificación mínima de IFC 2x3.
- Generar acceso a todos los modelos BIM desarrollados por los diferentes especialistas,
- Establecer adecuadamente las coordenadas del proyecto.
- Establecer el nivel de desarrollo de los modelos (LOD).
- Implementar las herramientas adecuadas para cada componente de la construcción.
- Desarrollar los modelos por niveles,
- Definir parámetros para compartir los modelos BIM de tal forma que permitan la estandarización y demás recomendaciones que garanticen la adecuada implementación de la metodología BIM en cada caso.

Estas guías han sido objeto de estudio y de referencia por diferentes entidades y organizaciones que buscan estandarizar la implementación de la metodología BIM tanto a nivel estatal como empresarial. Entre esas BIM Forum Colombia, quien menciona tomar como base las guías de BuildingSMART Spain para la creación de una serie de guías que se vienen desarrollando en el país, con el objetivo de normalizar BIM bajo una práctica estandarizada en Colombia. Lo cual demuestra los pasos importantes que viene dado el país en relación a la implementación de BIM.

## 4.6 Barreras para la adopción del OpenBIM

Como se ha mencionado en subcapítulos anteriores, OpenBIM solo es posible gracias a los estándares abiertos, por tanto, la interoperabilidad a través de formatos universales requiere de conocimientos específicos en las funcionalidades y usos de los archivos abiertos, además de protocolos altamente definidos que haga eficiente el flujo de trabajo entre las diferentes especialidades que se puedan encontrar en un entorno BIM abierto.

En correspondencia a lo anterior, el nivel de estandarización y de madurez que un país tiene con relación a la implementación de BIM, puede significar una mayor o menor capacidad de adopción de OpenBIM. Colombia, específicamente, se ve sometida a diferentes dificultades, ya que la implementación de esta metodología apenas inicia (Ramírez Sáenz et al., 2018).

El problema en general puede atribuirse a la falta de normas y pautas de carácter unificado y público para la implementación de BIM junto con el apoyo inexistente a la industria por parte del gobierno en el camino hacia dicha adopción (Ramírez Sáenz et al., 2018). Lo cual, además de la desequilibrada implementación, genera vacíos en el conocimiento de lo que significa BIM realmente, desconocimiento que forja una percepción errónea acerca de lo que es la metodología. Esto, lleva a muchos a creer que BIM es un software, incluso, se refieren a BIM como prácticas orientadas a la gestión de cambios o de apoyo a trabajos corporativos apoyado en una sola herramienta (Ocampo, 2015).

Lo mencionado en líneas anteriores, en principio, se debe al dominio actual de empresas diseñadoras de software en el mercado, donde es considerable mencionar Autodesk y Graphisoft que lideran dentro del entorno BIM a nivel mundial, con su software Revit y Archicad respectivamente, aunque con una mayor acogida y penetración en el entorno nacional y local la primera mencionada. Así lo confirma la presente investigación por medio del cuestionario difundido a nivel local, donde el 92.6% de los encuestados dicen ser usuarios de Autodesk Revit (ver anexo 1, imagen 107, pág. 312). Esto, genera confusiones en el término a tal punto que hablar de BIM se interpreta como un software específico, incluso, la penetración de mercado de estas empresas desarrolladoras de software limita la interoperabilidad entre las aplicaciones y deja al desconocimiento ese mundo diverso de herramientas que ofrece el entorno BIM.

Lo anterior también fue confirmado en la encuesta realizada por Gómez et al. (2016), que determinó que hay una inclinación evidente de los usuarios hacia el mercado de software de Autodesk, el 78.6% de los usuarios indicó que modelan en

Revit y el 33,3% realizan detección de conflictos y simulación en Navisworks, solo el 9.5% trabajan con Archicad y el 7.1% con Trimble SketchUp. Durante las entrevistas realizadas en la misma investigación, los encuestados determinaron que la razón principal para elegir a Autodesk Revit es su cuota de mercado y el flujo natural de la industria con herramientas CAD, especialmente con AutoCAD de Autodesk. Además, los problemas de interoperabilidad y comunicación que podrían tener con otras empresas los ha llevado a trabajar solo con Autodesk en lugar de migrar o trabajar simultáneamente con otros softwares.

En complemento a lo anterior y afirmando lo mencionado por Gómez et al. (2016), la encuesta realizada en la presente investigación que, dentro de sus tantas preguntas, buscó determinar las razones o los motivos por los cuales los usuarios BIM hacen elección de las herramientas para el desarrollo de los modelos pertinentes a sus áreas de desempeño laboral. Así, la respuesta refleja que el 64.8% de los encuestados hacen elección del software de acuerdo a la demanda actual, el de mayor uso en el mercado (Revit). Otros usuarios y las empresas donde laboran ya tienen un software establecido (48.1%) que también en este caso es el de mayor demanda, mientras, otro porcentaje de personas involucradas en un entorno BIM no tiene la oportunidad de hacer elección de su herramienta, pues en muchas ocasiones esta es determinada por el cliente, aunque también puede considerarse que la herramienta determinada por el contratante es la de mayor demanda.

Sin embargo, y de manera sorprendentemente, un porcentaje del 20.4% dice que la elección del software ha sido por la capacidad de interoperar con otras herramientas, y aunque en este caso también podría ser Revit, es interesante que un elevado número de usuarios BIM considere esta opción como la determinante para la adopción sus herramientas, pues deja en relieve que hay un cierto interés, conocimiento y necesidad de interoperar con otras estructuras organizacionales que hacen uso de herramientas BIM diferentes a las de ellos.

La hegemonía de las casas fabricantes de software contribuye a los problemas generalizados que dificultan la adopción de BIM en el país. El monopolio de un determinado software en particular favorece en ciertos casos el aumento de los costos asociados a las compras de licencias, capacitación del personal, aumentos en el desarrollo de ciertos trabajos y demás; situación que provoca en muchos rechazos de la metodología, ya que los conduce a salir de su zona de confort y dejar de lado una herramienta implícita de su área, provocando en ocasiones, quizás un “doble trabajo”. Es decir, desarrollan sus diseños en el software BIM establecido por

la empresa y deben rehacer el trabajo bajo la herramienta que impone el contrato solo con el objetivo de cumplir un reglamento contractual y “lograr una comunicación” con los de más especialistas.

No obstante, estas competencias comerciales son parte de la realidad actual, por tanto, se hace necesario dar una formación integral a los estudiantes de las carreras relacionadas con la construcción donde la calidad de sus propuestas prime sobre los tipos de programas que se utilizan, lo que cualificaría al profesional, a partir de su formación en tener capacidad de gestionar volúmenes grandes de información y de mayor calidad (Ocampo, 2015).

De ese modo, las barreras en la adopción de OpenBIM, pueden verse relacionadas en la tabla 6, la cual enmarca 3 dimensiones que se consideran como factores claves a combatir para el impulso de los estándares abiertos.

Tabla 6: Barreras en la adopción de OpenBIM

Dimensión	Factor
Barrera técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interoperabilidad ineficiente</li> <li>• Incompatibilidad entre software</li> <li>• Dificultad en la creación de parámetros de los modelos</li> <li>• Monopolio comercial</li> </ul>
Barrera organizacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura organizacional</li> <li>• Problemas de comunicación</li> <li>• Falta de formación profesional</li> </ul>
Barreras en los procesos colaborativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos niveles de estandarización</li> <li>• no se involucran todos los usuarios</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

**Las barreras técnicas:** Hace mención a la interoperabilidad ineficiente por las fugas de datos importantes que se pierden en los procesos de exportación e importación de un modelo BIM. Hace parte del rechazo hacia el uso de formatos abiertos, razón por la cual aún muchos usuarios se niegan en compartir la información o contenido de los modelos en el formato de creación.

**Barreras organizacionales:** Hace relación a las culturas internas de las empresas, que en muchas ocasiones son las que dificultan la adopción generalizada de BIM y del trabajo colaborativo, pues, la falta de confianza o de voluntad para compartir información es considerado como uno de los factores críticos para lograr la

interoperabilidad en la industria, así como la falta de profesionales cualificados que operan al interior de las compañías que conozcan del uso y la existencia de los formatos abiertos.

**Barreras de colaboración:** Aunque la voluntad por cooperar y trabajar conjuntamente haciendo uso de formatos abiertos puede existir en los profesionales y en las organizaciones, hay un vacío grande alrededor, y es la falta de estándares y de metodologías asociadas a la colaboración que haga eficiente el trabajo colaborativo. Aquí es preciso mencionar las ya nombradas Scrum, como un método interno, IPD, como una metodología general de trabajo, y BIM, por supuesto, que junto a las otras metodologías y bajo el uso de estándares abiertos aumenten la interoperabilidad en el entorno BIM.

# **CAPÍTULO 5: LA INTEROPERABILIDAD EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS**

La complejidad de desarrollar un proyecto de edificación y la necesidad de compartir conocimientos ha provocado cambios sustanciales en las relaciones profesionales, particularmente en la comunicación entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural durante el proceso creativo de una edificación.

Ante lo anterior, los modelos de información BIM se ha presentado como un aporte a esas dificultades, ya que dentro de sus objetivos buscan disminuir el grado de incertidumbre por la falta de entendimiento que se da en la comunicación, verbal, escrita o a través de planos en 2D. Particularmente en el diseño estructural, una forma de obtener la eficiencia de BIM, es lograr pasar los modelos 3D directamente a los fabricantes, lo que disminuye la necesidad de realizar detalles estructurales 2D. Hacer ese cambio requiere nuevos flujos de trabajo (Fitzgerald, 2018), y de interoperabilidad tecnológica, pues las herramientas usadas por ambas partes deben de contar con la capacidad de leer e interpretar la información transmitida. Es aquí donde el concepto OpenBIM se reconoce como un aporte a la interoperabilidad en BIM, donde el IFC se muestra como el vehículo de comunicación que facilita el intercambio de información entre las plataformas BIM usadas en la industria de la construcción y por estas disciplinas particularmente.

En el presente capítulo, a través de entrevistas con expertos y el análisis de la empresa caso de estudio, se busca entender cómo se han dado las dinámicas en el flujo de trabajo entre el arquitecto y el diseñador estructural, así como conocer los retos a los que actualmente se enfrentan estas disciplinas para lograr la plena interoperabilidad dentro de un entorno de trabajo BIM. Además, mediante un caso práctico realizado en el que se implementa el concepto OpenBM se busca demostrar el uso del formato IFC como el medio de comunicación entre las disciplinas en cuestión, el que finalmente servirá de ejemplo de aplicabilidad en las comunicaciones tecnológicas entre otras disciplinas que hagan uso de BIM y laboren bajo un entorno abierto.

## **5.1 El flujo de trabajo entre el diseñador arquitectónico y el diseñador estructural**

El flujo de trabajo entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural se basa fundamentalmente en el planteamiento arquitectónico, de allí surgen todas las relaciones que se puedan tener durante el ciclo de vida de una edificación o bajo el tiempo que contractualmente se vean condicionados.

De la constante y eficiente comunicación entre los profesionales de las áreas mencionadas, depende en gran medida la buena marcha del proyecto. Así lo considera el arquitecto F. Posada (2020), de la empresa AIA, quien además menciona que las relaciones entre estos dos profesionales debe ser de principio a fin y no solo en ciertas etapas del proyecto como en algunas ocasiones las rigen los contratos, pues del ingeniero estructural depende en un alto porcentaje el éxito del resultado final de un proyecto arquitectónico. Y de allí surge la importancia, el protagonismo y la alta responsabilidad del ingeniero de estructuras en un proyecto de edificación, quien en términos legales y contractuales puede llegar a tener las mismas cargas de responsabilidades que el arquitecto, tanto en asuntos penales por el no cumplimiento a las normas y demás, como también en el resultado final frente al cliente.

En consideración con F. Posada (2020), la comunicación entre estas disciplinas debe ser estrecha ya que, entre más íntima sea y más confianza exista, mayores soluciones pueden darse en resolver cualquier asunto. En ese sentido, los aspectos humanos y la disponibilidad de colaborar uno frente al otro juega un papel importante. Donde es preciso considerar dos tipos de escenarios, uno en el cual la relación y comunicación del arquitecto con el ingeniero estructural es precisa, puntual y limitada, dada su poca disposición para colaborar, y otra donde la relación entre estas disciplinas se dé con mayor confianza y exista una comunicación más abierta y cotidiana. De acuerdo a F. Posada (2020), este último tipo de relaciones es más conveniente para un proyecto de edificación, en especial para aquellos de mayor complejidad y de constantes cambios, porque da lugar a espacios de discusión y comprensión del discurso, a diferencia del escenario anterior, donde la relación es menos estrecha y poco probable que se lleguen a las mismas soluciones.

En efecto, la capacidad de comunicación, sea verbal, presencial o por cualquier otro medio es determinante para encontrar las soluciones esperadas. De no existir esa

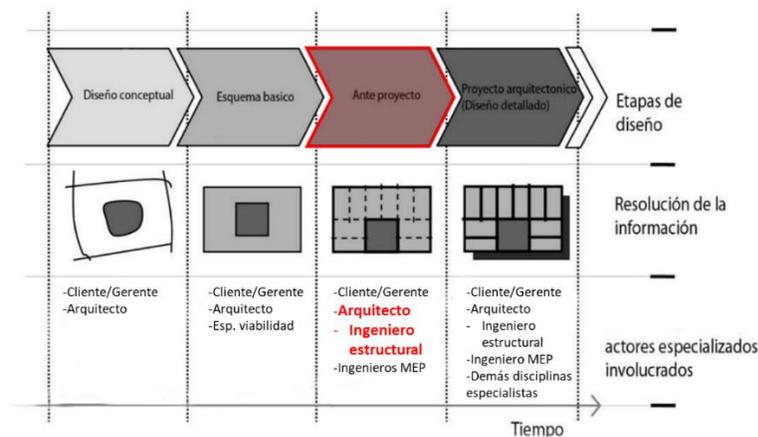
fluidez, las discusiones se podrían limitar al argumento de las razones técnicas de cada uno de los profesionales sin concluir o encontrar soluciones optimas porque cada uno se puede centrar en su juicio. Lo cual limita la interoperabilidad desde los aspectos humanos.

**Momento en que el ingeniero estructural ingresa al desarrollo del proyecto**

Tradicionalmente el ingeniero estructural ingresa al desarrollo del proyecto luego de pasar la etapa de esquema básico, así como lo muestra la imagen 46, ya que en los procesos anteriores a esta fase, la interoperabilidad y la comunicación se limita a las discusiones entre el arquitecto y el cliente, en aras de encontrar desde el diseño las pretensiones que el propietario desea, además de evaluar otros temas como de viabilidad económica, aspectos normativos urbanos u otras condiciones relacionados al proceso creativo; tiempo que según F. Posada (2020), puede ser de inactividad para el ingeniero estructural, pues en esas etapas iniciales las discusiones se limitan a aspectos económicos y de forma, lo que según el mismo experto, ha justificado a lo largo del tiempo el momento de ingreso del ingeniero estructural al proyecto.

Así pues, la integración del ingeniero estructural al desarrollo de la edificación se da en la fase de anteproyecto, luego de concluir todo lo que en la fase del esquema básico se requiere. Del ingeniero estructural, y todo lo plasmado a partir del conocimiento de este especialista se da el resultado del anteproyecto arquitectónico. Sobre el cual, se empieza a definir el sistema estructural, dimensiones y posiciones reales de los elementos de carga, como muros, pantallas, columnas, vigas etc.

Imagen 46: Momento de ingreso del estructural



Fuente: Esquema tomado de Mourshed (2006), identificación de actores según F. Posada, 2020

En concordancia con F. Posada (2020), otros expertos como Díaz (2020), consideran que el momento en que el ingeniero estructural entra al desarrollo del proyecto en la actualidad, puede no ser oportuno, porque a medida que esta disciplina ingrese antes se podrán anticipar dificultades relacionadas al diseño y los procesos podrán ser mejores desde el lado constructivo, técnico y funcional, lo cual disminuiría ciertos costos por imprevistos y errores desde el diseño.

En ese sentido y según lo dicho por los especialistas, la entrada del ingeniero debe ser desde una fase inicial (esquema básico o quizás conceptual), aunque esto puede ser proporcional a la complejidad del proyecto, pues en el diseño de una edificación a gran escala, de curvas sinuosas o geométricamente ambicioso, la entrada del ingeniero en una etapa de conceptualización puede ser la clave para lograr lo que desde la arquitectura se proyecta, además de llegar al resultado final con soluciones optimizadas y contundentes. Como objeción se podría argumentar que los costos del proyecto aumentan en función del tiempo en que ingresa el ingeniero estructural, la inversión es más alta a medida que el ingeniero tarde más en involucrarse al proyecto. Esto está dado por los reprocesos en los diseños por aspectos no previstos por el arquitecto en etapas tempranas, debido a su conocimiento limitado en temas estructurales.

### **Flujo de trabajo y medios de comunicación**

El primer acercamiento del ingeniero estructural al proyecto debe ser a través de reuniones presenciales, así lo menciona el arquitecto F. Posada (2020), quien manifiesta que este medio de comunicación físico es fundamental desde un inicio para compartir lo que se pretende a nivel espacial y funcional desde la arquitectura. La asistencia de los actores permite un mayor entendimiento de lo que se expone, el hecho de expresar las ideas a través de gestos y movimientos corporales, causa mayores niveles de convencimiento y genera menos dudas, siempre y cuando se presenten las ideas de manera acertada, y esto, por supuesto, se traduce en mejores resultados.

Aunque el presencial no debe ser el único modo de comunicación, y quizás solo deba utilizarse en momentos donde las decisiones son contundentes y radicales para el proyecto; por ejemplo, en las definiciones de aspectos relacionados con el sistema constructivo, posición y tamaño de los elementos estructurales, la presentación del concepto del diseño, y demás condiciones que puedan cambiar el rumbo de cualquier planteamiento arquitectónico. En otros procesos, donde el trabajo se lleva de forma más mecánica, como puede ser la producción de la

información (dibujo de planos generales, detalles constructivos) según las decisiones ya tomadas, la forma de comunicar la información y el flujo de trabajo no está limitado a reuniones presenciales, y otros medios entran en juego; es aquí donde los avances de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) tienen un gran aporte y permiten transmitir el flujo de información entre las partes implicadas para lograr conjuntamente el desarrollo del proyecto, entre llamadas telefónicas, videoconferencias, correos electrónicos, mensajes por WhatsApp y el uso de otras plataformas electrónicas, posibilitan la comunicación entre los especialistas.

Típicamente, la información transmitida ha sido mediante planos en 2D, por medio de formatos CAD, PDF o comentarios y observaciones gráficas o escritas bajo los medios electrónicos ya mencionados, con lo que se busca coordinar aspectos de forma, sensaciones, materialidades, procesos constructivos, costo, adaptabilidad de los elementos, las capacidades de cargar, etc. Un proceso de comunicación basado en la comprensión de líneas, textos y demás elementos desvinculados significa una dificultad importante en el flujo de trabajo actual. Sin embargo, en la actualidad, el uso de plataformas colaborativas en la nube y herramientas paramétricas avanzadas que hacen parte del entorno BIM como Revit, Tekla, Archicad, etc. y otras formas de comunicación abierta perteneciente concepto OpenBIM, vienen generando nuevas dinámicas, lo que además presenta nuevos retos en el flujo de trabajo de las disciplinas, que, en efecto, tienen una alta incidencia en la comprensión y desarrollo del proyecto arquitectónico contemporáneo.

### **5.1.1 Problemas de la comunicación e intercambio de información**

Los problemas actuales de comunicación entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural están ligadas principalmente al uso de información bidimensional para el intercambio de datos del proyecto durante las diferentes fases de la edificación, el uso de planos impresos, PDFs y la transmisión de dibujos digitales en 2D conllevan a una mala comprensión del proyecto y permiten pasar por alto aquellas situaciones de errores que pueden significar altas pérdidas económicas para el propietario y la obra misma. De acuerdo a F. Posada (2020), el uso de planos DWG no permiten tener la claridad total de la información y de los componentes que unifican los diseños, lo cual se presta para problemas, especialmente en los procesos de coordinación. La información, según el mismo experto, nunca es completa, los planos de planta nunca muestran al detalle el desarrollo de las estructuras o en muchos casos difiere en la información

complementaria, es decir, lo que se refleja en planta es diferente a lo que muestran los detalles, y esto dado, principalmente, por fallas humanas en la producción de los dibujos.

La falta de información, o los pocos planos que se comunican, se considera también una problemática importante. En muchos casos se pretende resolver todos los asuntos relacionados al diseño únicamente a partir de una planta arquitectónica o estructural y en unas cuantas secciones, sin embargo, para entender la generalidad de la edificación, de un lado o del otro, se requiere más información: más cortes, plantas, detalles, etc. No obstante, las dificultades en general no se asocian únicamente a los planos transmitidos, si no también, a la falta de comprensión de lo que se comunica de manera escrita por correos electrónicos u otros medios. Cuando no se expresa bien la idea, o se quedan cortos los textos, resultan vacíos y se presta para las confusiones.

Sumado a lo anterior, las masivas fuentes de comunicación llevan a una pérdida de información, y no solo por problemas de interoperabilidad entre las herramientas, sino, porque se desvirtúan las fuentes principales con las que se interopera, es decir, no se usan únicamente los medios oficiales para intercambiar la información cómo puede ser el correo electrónico u otra fuente en la nube sino que también se utilizan otras aplicaciones tecnológicas como Whatsapp y algunas más redes sociales para el intercambio de conocimiento, planos digitales, consultas particulares y otras inquietudes de persona a persona, donde se toman decisiones importantes y contundentes entre particulares, sin el conocimiento o aprobación de los demás implicados. Una situación que según F. Posada (2020), genera pérdidas de datos y desconocimiento de algunos procesos porque no se comparten oportunamente las decisiones que se acuerdan por los medios “no oficiales”, ni se tienen en consideración algún cambio realizado en el proyecto por quien debería, además, se pierde el rastro o el registro de las decisiones tomadas.

Es allí precisamente donde tiene un alto valor el uso de modelos de información y las demás plataformas que hacen parte del entorno BIM, las cuales buscan dar respuesta a este tipo de problemas que son comunes en un proyecto de construcción y que son vividas no únicamente por el ingeniero estructural y el arquitecto sino también por otras disciplinas. No se puede desconocer que existen esfuerzos significativos en la adopción de la metodología BIM por parte de los ingenieros estructurales, y aunque quizás, se esté dando por el arrastre de la arquitectura hacia estas nuevas formas de trabajo, pues es la arquitectura, la

disciplina con mayor adopción de BIM, según las encuestas realizadas por el presente estudio, con una participación del 66.7% y seguida por la ingeniería estructural con un 16.7% (ver anexo 1, imagen 96, pág. 305). Lo cual marca retos importantes en la comunicación tecnológica y esto se debe a las diferentes plataformas que usan estas disciplinas, en especial la ingeniería de estructuras en acero, que requieren de plataformas especializadas que se ajusten a sus necesidades laborales y de producción. Pues estas necesariamente deben conectarse a las maquinas CNC para automatizar la información producida para la fabricación. Lo cual los lleva a adoptar un software especializado en este tipo de tareas, como Tekla Structure.

La diversidad de plataformas que cubren los requerimientos de cada disciplina abre la necesidad de la interoperabilidad en el campo de la construcción, todo con el ánimo de aumentar la productividad bajo un flujo de trabajo transparente. Y es ahí donde se hace presente OpenBIM, pues se ratifica que la implementación de este concepto es el camino indicado para que diferentes especialidades como es el caso del ingeniero estructural, el fabricante de elementos metálicos, el arquitecto y demás, puedan operar de manera conjunta dentro de un entorno común de trabajo, donde el intercambio de información se realice a través del formato IFC.

### **5.1.2 Similitud y diferencias del uso de tecnologías**

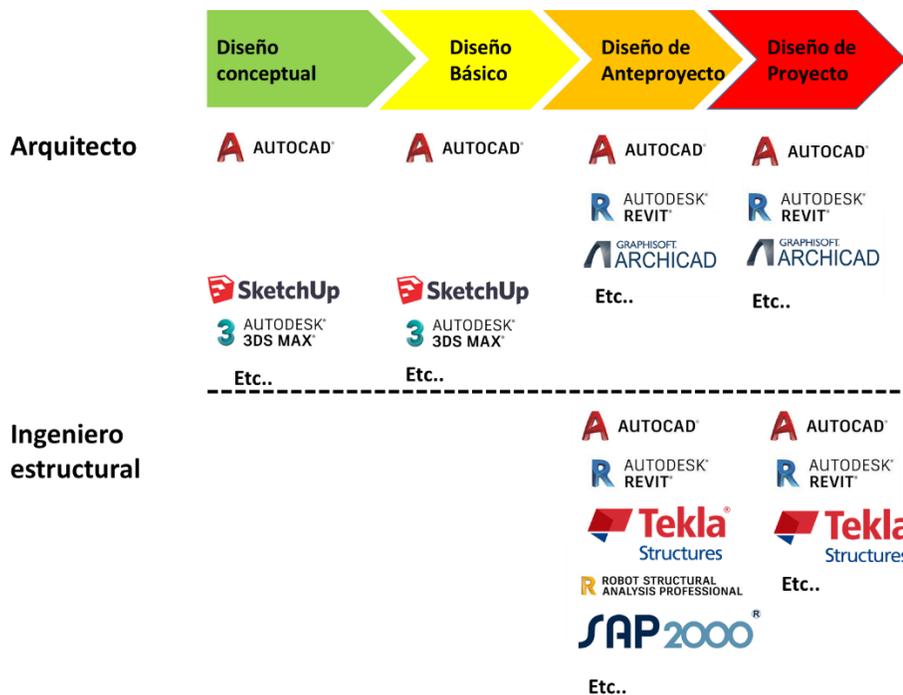
La diferencia entre las herramientas tecnológicas usadas por la disciplina de arquitectura e ingeniería básicamente se da por las necesidades puntuales de cada una de las especialidades y de las tareas específicas que abarcan en el proceso creativo de la edificación, así lo manifiesta H. Posada (2020), gerente del área de estructuras de la empresa Doblamos S.A.

El arquitecto por su lado requiere de plataformas que le ayuden a materializar de manera flexible y ágil sus propuestas, además que le permitan comunicar de forma eficiente sus ideas con el cliente y otros interesados que no tienen nociones técnicas para entender la generalidad del proyecto a partir de planos en 2D. En ese sentido, las labores por parte del arquitecto se han apoyado tradicionalmente en plataformas como AutoCAD, Sketchup, 3ds max, etc.; mientras el ingeniero estructural por su parte necesita de plataformas que apoyen tareas mucho más técnicas, enfocadas en los análisis, fórmulas matemáticas y dibujos de alta precisión, en especial en estructuras metálicas donde, cabe señalar, el uso de Tekla Structure como una herramienta especializada que apoya perfectamente estos requerimientos, tal como lo muestra la imagen 47.

Otras plataformas como SAP 2000, ETAB o Robot le permiten abarcar tareas al ingeniero estructural en los momentos iniciales del proyecto, pues se enfocan en el análisis de las estructuras y se orientan a resolver capacidades de cargas, comportamientos sísmicos, dimensiones de las estructuras, reforzamientos de aceros, y otras condiciones que son parte de la funcionalidad de las mismas.

El uso de alguna de las herramientas mencionadas pueden acompañar los procesos en ciertas etapas del proyecto, por ejemplo, en una fase de conceptualización y esquema básico de una idea arquitectónica, donde la comunicación se da con el cliente a través de imágenes, modelos 3D y otras estrategias gráficas, se requiere el uso de plataformas como Sketchup, 3ds max y softwares de edición de imagen como Photoshop o Illustrator, con el ánimo de dar a entender las ideas en relación a materialidades, volúmenes geométricos, condiciones espaciales y demás aspectos mencionados en anteriores capítulos.

*Imagen 47: El uso de las herramientas tecnológicas por parte del arquitecto e ingeniero estructural*



*Fuente: Elaboración propia*

La imagen 47 muestra el uso de las aplicaciones tecnológicas entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural a lo largo de la etapa de diseño. Esta gráfica

fue desarrollada a partir de lo conversado con el arquitecto F. Posada (2020) y el ingeniero estructural H. Posada (2020) de la empresa Doblamos S.A. En esta se identifica que el software AutoCAD de la compañía de Autodesk es la plataforma que tradicionalmente ha venido acompañando todo el desarrollo de diseño, no solo arquitectónico, sino también estructural, lo cual corresponde al auge comercial que esta plataforma tuvo después de los años 90, logrando la penetración a nivel mundial en los estudios de arquitectura e ingeniería. En la actualidad algunas compañías de arquitectura como el departamento de diseño de la empresa AIA persisten en mantener el uso de CAD, y si bien, esto viene cambiando en el presente debido a la adopción y crecimiento de la metodología BIM, tan solo en la etapa de anteproyecto compañías de diseño como el departamento de esta área de AIA han concebido dentro de sus políticas el uso de una aplicación BIM Revit para un proyecto en particular, no en etapas anteriores, así lo menciona F. Posada, (2020), y eso demuestra que aún existe un alto arraigo por métodos tradicionales y la resistencia al cambio tecnológico.

En ese sentido, y según lo dicho por los expertos, al momento de ingresar el ingeniero estructural al proyecto existe cierta información que se almacena en plataformas con las que no se familiariza esta especialidad. Y aunque, en la fase de anteproyecto convergen en el uso de una aplicación como AutoCAD, existe otro tipo de datos gráficos que se guardan en softwares como Sketchup o 3DS MAX que les es necesario compartir para trasladar sus conocimientos y la generalidad de un proyecto ya definido en ciertos aspectos con el cliente y otros interesados en fases anteriores. Así, al momento de ingresar el ingeniero, según F. Posada (2020) la información no se transfiere únicamente en la plataforma AutoCAD, sino también en los softwares de modelado mencionadas.

No obstante, las dificultades se presentan cuando la especialidad que recibe la información, en este caso el ingeniero estructural, no logra leer e interpretar los archivos recibido, pues según se observa en el cuadro comparativo de plataformas usadas (imagen 47), esta disciplina no usa en ningún caso una herramienta como Sketchup o 3DS MAX; y aunque puede obtener acceso al modelo 3D recibidos le va costar esfuerzo manipularlo, pues el desconocimiento en la plataforma le va causar limitaciones. Además, lo contenido en este tipo de modelos 3D se restringe a información gráfica, pues no contiene metadatos asociados a los elementos que le puedan ser de interés al ingeniero estructural. A esto se hace referencia cuando se nombra la falta de interoperabilidad tecnológica en muchos casos.

Por lo anterior, se ratifica que el uso de modelos de información (BIM) es la mejor alternativa para combatir estas dificultades, sin embargo, debe existir una

transformación cultural en las compañías, y el uso de estas aplicaciones debe ser desde las fases iniciales de un proyecto, y no únicamente en la fase de anteproyecto, tal y como lo hace AIA en la actualidad, pues someten a los proyectos a unos altos costos de oportunidades.

Y aunque se ha logrado identificar a través de las encuestas realizadas por la presente investigación la alta demanda en solicitud de los clientes en cuanto al uso de las plataformas BIM (ver anexo 1, imagen 104, pág. 310), también, a través de las mismas, se percibe una alta comodidad por el uso de una aplicación específica como Revit (Autodesk), , lo cual se deba quizás a la familiarización con la casa desarrolladora de AutoCAD, el software que ha acompañado las labores de estas disciplinas alrededor de 30 años, y esto para muchos podría ser una solución a los problemas de comunicación e interoperabilidad, en especial entre las disciplinas de arquitectura y estructura que tanta responsabilidad tienen en un proyecto de edificación.

Sin embargo, la “comodidad” de trabajar en Revit atrae a ingenieros que desarrollan estructuras en concreto, además de estar mediados por el monopolio comercial o la demanda actual en cuanto a la elección del software, pues, la herramienta a groso modo es eficaz, aunque, existen otras situaciones en las que no sucede lo mismo, en especial para aquella especialidad que se dedican al cálculo, diseño y fabricación de estructuras metálicas. Según H. Posada (2020), con Revit difícilmente se llega a ese alto nivel de detalle que requieren las estructuras en acero, además, según el mismo experto, con esta plataforma no se logra una comunicación con las maquinas CNC de las plantas de producción, lo que en efecto entorpecería los procesos de automatización en la fabricación. Esto a diferencia de un software como Tekla Structure, como anteriormente se dijo, dicha herramienta brinda todas las necesidades relacionadas a estas tareas.

## **5.2 La automatización en el sector del diseño y construcción de estructuras metálicas**

Los procesos de diseño y construcción de las estructuras metálicas, particularmente, han visto la necesidad de automatizar sus procesos de producción, y no solo por dar una mayor respuesta al cliente, sino también para lograr una mayor precisión y menor desperdicio en la fabricación de los componentes estructurales. Lo que, sin duda, ha contribuido de forma significativa a los problemas ambientales.

Pues según Pittman (2018) la construcción es la encargada de generar casi un tercio de los desechos mundiales.

En efecto, los procesos de fabricación actualmente son más eficientes y esto gracias a la automatización a través del uso de herramientas paramétricas avanzadas que han permitido a la industria de la construcción materializar formas y estructuras arquitectónicas complejas en tiempos relativamente cortos si se comparan con procesos y herramientas tradicionales, una ventaja dada a la flexibilidad y la precisión que las mismas plataformas otorgan, las cuales al mismo tiempo permiten la producción y prefabricación estandarizada de elementos de construcción de forma masiva. Lo cual ha generado una mayor capacidad de respuesta frente a la demanda actual en este campo, fundamentalmente en las edificaciones repetitivas, puesto que acelera la ejecución de una obra a la vez que garantiza el control de la calidad y la reducción de sus costos (Sandoval, 2016).

Lo anterior se observa con mayor claridad en la producción, fabricación y montaje de estructuras en acero, donde las herramientas de producción industrial y la automatización de los procesos han permitido atender la demanda de edificaciones metálicas, reduciendo la capacidad de respuesta frente al cliente, los recursos asociados a la producción de la información y aportar una mayor precisión en la construcción de proyectos complejos.

De acuerdo a lo mencionado, en las estructuras metálicas evidentemente el uso de las tecnologías BIM han permitido ahorros significativos tan solo con el hecho de automatizar los entregables a partir de un modelo 3D. Los rendimientos, según los indicadores mencionado por Juan Felipe Díaz, director técnico de Latam-Construsoft, han pasado de 200-300 kg, a 800-900 kg por hora hombre gracias al uso de una herramienta BIM como Tekla Structure, por ejemplo.

En ese sentido Díaz (2020), considera que existe un beneficio en la fase de diseño, que es la optimización de los tiempos de producción en la fabricación. Y por ello, el objetivo se centra en poder automatizar la generación de información 2d para poder centralizar las actividades y los esfuerzos del modelo en hacer ingeniería y no planos.

De acuerdo a lo anterior, es preciso considerar que en la industria se vienen dado ciertos grados de optimización. También es posible mencionar que ya no es suficiente reducir la ineficiencia a través del modelo viejo de automatización que se ha centrado solo en la optimización. El mundo de hoy, que tiene mayores problemas

por resolver, requerirá de un nuevo modelo de automatización, centrado en la colaboración (Pittman, 2018).

En ese nuevo modelo de automatización es donde cabe señalar la necesidad de integrar con antelación no solo al diseñador y calculista de las estructuras metálicas, sino también al fabricante, pues según Díaz (2020), esto puede significar altos beneficios en la transformación de las inversiones que pueda tener el proyecto a nivel de planificación y el impacto que se pueda dar en los cambios y costos en fases tempranas vs fases posteriores.

El modelo colaborativo propone que los arquitectos estén involucrados de una forma más directa en los procesos de fabricación, lo cual disminuiría en un alto grado los niveles de desperdicio tanto de información en el proceso creativo como en la producción de los elementos concretamente.

En consecuencia, se crean nuevas sinergias en la arquitectura, ingeniería y construcción, que cruzan los límites de las diversas disciplinas. No obstante, el reto está en cómo desarrollar un modelo de información integrado que facilite todas las etapas del proyecto, que además provea un ambiente colaborativo entre todas las partes del proceso (Sandoval, 2016).

Pues a pesar de la naturaleza colaborativa que ofrece BIM, Sandoval (2016), menciona que muchos usuarios de los campos antes mencionados se han quejado debido principalmente a la falta de interoperabilidad entre los softwares, lo que provoca una percepción de insuficiencia de la tecnología empleada, motivo por el cual, según el mismo autor, se deben incurrir en esfuerzos adicionales para resolver problemas de interoperabilidad.

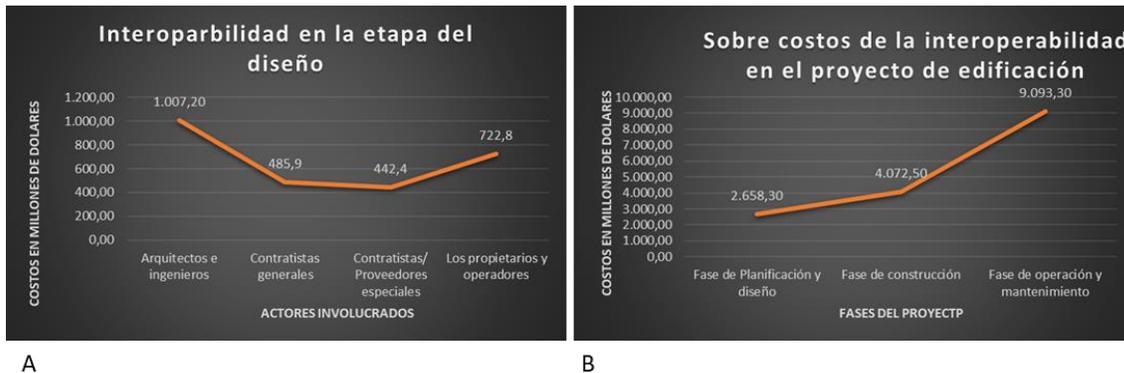
En ese marco, la capacidad de comunicar la información contenida en el modelo estructural desarrollado por el ingeniero en un software como Tekla con el modelo arquitectónico construido virtualmente en Revit, por ejemplo, es fundamental para lograr la eficiencia y el objetivo final que no dé cabida a costos adicionales ni mal interpretación de la información. Y esto representa un cambio en las relaciones y procedimientos entre los diseñadores, fabricantes y constructores, donde el concepto OpenBIM se ratifica como la alternativa a tomar.

### **5.3 Sobre costos y reprocesos debido a bajos niveles de interoperabilidad y mala comunicación entre diseño arquitectónico y cálculo estructural**

Los arquitectos e ingenieros estructurales, al ser los profesionales que mayores responsabilidades tienen frente al desarrollo del proyecto en términos de eficiencia, funcionalidad y demás, representan también los actores que más compromisos asumen sobre los costos finales de una edificación. Los problemas de comunicación, dificultades en la transferencia de información, esfuerzos duplicados entre las organizaciones, falta de estándares definidos y demás procesos inadecuados, son los causales de los sobre costos que sufren los proyectos y los que afrontan los propietarios u operadores en fases futuras, en la construcción y el mantenimiento.

Una expresión gráfica de lo mencionado, se refleja en las curvas de la imagen 48, las cuales fueron extraídas del informe del NIST según los datos presentados por Mourshed (2006) (ver sub-capítulo 3.4). Aunque el estudio relacione a los arquitectos e ingenieros en general (estructural, eléctrico, hidráulico, mecánico, etc.) como los actores que mayor influencia tienen sobre los costos por la inadecuada interoperabilidad durante la etapa de diseño, según lo indagado con los expertos F. Posada (2020) y H. Posada (2020) y entendiendo el alto compromiso del ingeniero estructural sobre el proyecto, se puede asumir que es este profesional junto con el arquitecto quienes generan los mayores sobrecostos por encima de los demás intervinientes en la etapa de diseño, y que son ellos mismo los mayores responsables de los sobre costos del proyecto en sus fases finales (gráfica B de la imagen 48). Lo cual hace que los comportamientos de las curvas no cambien sustancialmente y que sea ese el panorama más similar que puede suceder en un proyecto en relación al aumento de costos asumidos por la falta de interoperabilidad entre el arquitecto y el ingeniero. Lo que además ratifica la necesidad de adoptar nuevos métodos de trabajo que ayuden a anticipar los problemas y a disminuir los reprocesos que se dan en un proyecto.

*Imagen 48: Los sobrecostos por la falta de interoperabilidad entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural*



A

B

Fuente: elaboración propia de acuerdo a los datos de Mourshed (2006), según el estudio del NIST

F. Posada (2020) y H. Posada (2020), coinciden en que los mayores problemas que llevan a los sobrecostos de un proyecto por la inadecuada interoperabilidad entre estas disciplinas, son:

- Manejo de diferentes versiones de planos que provocan errores humanos en el desarrollo y en la construcción del proyecto por planos incompletos o incoherentes entre ellos.
- La continua dependencia del papel y planos digitales en 2D que en ocasiones no permiten tener la claridad sobre la generalidad del proyecto y tomar las decisiones acertadas.
- La mala interpretación de la información bidimensional: planos en 2D, textos de correos electrónicos, informes digitales, etc.
- La desarticulación de los actores en algunos procesos: cada disciplina trabaja de manera independiente comprometiendo en algunas ocasiones los diseños del otro.
- La falta de estándares y de una fuente que unifique la comunicación: lo cual genera un caos en la comunicación, entre llamadas telefónica, mensajes de texto, correos electrónicos, conversaciones por WhatsApp, etc.

Por su parte, el arquitecto F. Posada (2020), menciona que los sobrecostos también se dan por los altos reprocesos en los diseños arquitectónicos pues, según el experto, esto sucede en gran parte, por el momento tardío en que ingresa el ingeniero estructural al proyecto actualmente, lo que en ocasiones lleva a replantear

una idea arquitectónica por problemas de emplazamiento, asentamientos sobre el terreno o por cualquier otro requerimiento del sistema estructural que no fueron previstos por el arquitecto dado a su desconocimiento en un área tan específica como lo son las estructuras.

La falta de coordinación y comunicación entre las especialidades en cuestión es sin duda la fuente de errores más común en los procesos constructivos, donde las soluciones van desde pequeñas correcciones hasta la demolición de lo construido, lo que según, F. Posada (2020), puede considerarse en términos económicos un aumento de los costos entre el 200 o 300 % de una actividad, ya que la obra debe asumir un tiempo adicional por la reconstrucción de lo demolido, etc.

Otro aspecto importante en relación a estas dificultades, especialmente dadas entre el arquitecto y el ingeniero de estructuras metálicas es lo mencionado en líneas anteriores referente a la falta de convergencia en el uso de las herramientas tecnológicas que emplean ambos actores para cubrir sus labores, lo cual ha provocado durante varios años procesos arduos y grandes errores durante la generación de los diseños, los cuales se han trasladado a la fabricación y puesta en sitio. El uso continuo de una plataforma de dibujo bidimensional CAD por parte del arquitecto y la necesidad de usar herramientas paramétricas avanzadas por parte del estructural metálico ha llevado a realizar procesos complejos por la revisión exhaustiva, el entendimiento del proyecto y demás tiempo invertido para llevar a cabo sus labores, como es el modelado de estructuras en un software paramétrico.

Esa divergencia de herramientas que no permite la lectura precisa de la información, genera pérdidas de datos, esfuerzos adicionales, etc. Lo que según H. Posada (2020), se considera como uno de los mayores problemas con los que acarrea hoy el desarrollo de las estructuras metálicas, ya que existe un reproceso en cada una de las tareas realizadas, porque la ejecución de cualquier tipo de modelo, sea para el análisis del comportamiento estructural, coordinación o fabricación, requiere de la reconstrucción de la información de los planos bidimensional, es decir, los elementos estructurales que pueden estar dibujados en AutoCAD como intención inicial del diseño arquitectónico deben ser modelados a partir de esa información por el ingeniero estructural para luego hacer los respectivos análisis o el modelo BIM detallado, eso se traduce en una duplicación de esfuerzos y mayores costos por los tiempos invertido además del riesgo que se corre de poder caer en un error por la mala interpretación.

Si bien en la actualidad la dinámica viene cambiando, ya que el arquitecto como mayor usuario de BIM viene incorporando nuevas herramientas tecnológicas

enfocadas al trabajo colaborativo y la creación de modelos de información, el proceso comunicativo entre estas disciplinas, particularmente con el estructural metálico continúa realizándose de manera tradicional, los sobrecostos del proyecto por esta falta de interoperabilidad tecnológica aún siguen en aumento, y esto se debe a la falta de uso y conocimiento de formatos abierto e interoperables con el que puedan comunicar lo producido en una plataforma como Revit, la de mayor uso por parte de los arquitectos con otra como Tekla enfocada a las estructuras. En ese sentido las oportunidades están en trabajar mediante otras lógicas enfocadas al trabajo abierto, y para ello, se requiere la implementación del concepto OpenBIM lo cual disminuiría la falta de interoperabilidad tecnológica entre estos actores.

## **5.4 Retos para el mejoramiento de los niveles e interoperabilidad entre ambas disciplinas**

Los retos para mejorar la interoperabilidad entre la disciplina de arquitectura y estructura, inicialmente está en fomentar aún más el trabajo colaborativo, unificar los canales de comunicación y estandarizar los medios tecnológicos a partir de formatos comunes de intercambio de información, así como también aumentar y estimular las relaciones personales. Pues, los proyectos contemporáneos y su forma de diseñarlos vienen cambiando de forma acelerada, y requieren, además de los altos conocimientos técnicos, personas capaces de adaptarse a los cambios y de trabajar en equipo, siendo esto último una de las mayores condiciones que puede llevar al éxito al proyecto de edificación.

Puntualmente sobre los retos para el mejoramiento de los niveles e interoperabilidad entre ambas disciplinas F. Posada (2020), menciona que el desafío está en incluir al diseñador estructural en un momento más temprano del proceso creativo, es decir, en la etapa de conceptualización o esquema básico, sin que esto sea visto como un aumento en los costos de un proyecto, por el pago de los servicios anticipados. En esa medida, se debe también educar al cliente y hacerle ver esto, no como un sobrecosto, sino, como una estrategia para disminuir los imprevistos o los reprocesos que se dan por el momento “tardío” en que ingresa el estructural actualmente.

A medida de lo anterior podría estar la forma de contratar al ingeniero, pues en etapas tempranas de desarrollo de una idea arquitectónica, el ingeniero estructural puede ser contratado solo como un consultor, que no tiene que estar tiempo completo dedicado al proyecto, sino, tener disponibilidad a las consultas, dudas e

inquietudes por parte del arquitecto. Luego de la fase de diseño básico ya ingresaría bajo las condiciones actuales.

Aunque lo mencionado no es el escenario ideal, pues se considera que desde un inicio estas disciplinas deben trabajar de forma conjunta y estrecha, y no solo resolviendo dudas puntuales, sin embargo, sería un escenario intermedio al ideal sin aumentar los costos a groso modo.

En cuanto a lo tecnológico aún hay muchos desafíos por resolver; los avances en la tecnología han puesto sobre la mesa una amplia gama de herramientas, plataformas tecnológicas, canales de comunicación y demás, que aún no se han adoptado a plenitud. Si bien, el uso de modelos paramétricos ha aumentado la productividad y la eficiencia en los procesos creativos y de desarrollo, en la actualidad existen vacíos que no permiten lograr todo el potencial que las herramientas BIM brindan a las disciplinas en cuestión y a los demás actores involucrados.

En ese sentido, se dan dificultades en la comunicación a través de los diferentes softwares usados, que llevan a aumentar los tiempos y esfuerzos por parte de las personas u organizaciones involucradas. Así, el reto está en poder comunicar la información arquitectónica con el ingeniero estructural, y que esta información sea un insumo de trabajo que no le genere reprocesos.

De acuerdo con lo anterior, el caso típico o señalado en el flujo de trabajo entre el arquitecto y el ingeniero estructural haciendo uso de herramientas BIM, el desafío está en cómo comunicar la información desde una plataforma como Archicad, Revit u otra similar, con la usada por el ingeniero, en particular los estructurales quienes no podrían ajustarse a Revit, sin que les aumente los procesos de trabajo.

Aunque se conoce que el camino está trazado y que los formatos abiertos que operan dentro del entorno OpenBIM como es el caso de IFC pueden ser adoptados como el vehículo de comunicación entre estas herramientas y las personas, aún existen muchos vacíos, especialmente en Colombia, lo que puede relacionarse al bajo nivel de madurez en el uso de la metodología BIM.

H. Posada (2020) también señala que en el entorno BIM o los modelos que se crean en ese ámbito, los arquitectos requieren tener mucho más rigor para modelar los proyectos. Según el experto, esa falta de precisión se debe a lo acostumbrados que han estado los diseñadores usando otras herramientas como AutoCAD o Sketchup que finalmente conceden una idea representativa. Los modelos BIM van mucho más allá de esto, pues del rigor con el que se modele puede depender muchos otros

aspectos, como las cantidades, por ejemplo. Esa falta de precisión, producto de malas prácticas en algunos casos entorpecen las relaciones de arquitectura y estructura, pues las estructuras metálicas en especial, necesitan de alta rigurosidad y precisión por lo cual se trabajan en unidades diferentes a las que el arquitecto está acostumbrado: se desarrollan en milímetros.

Sin embargo, la rigurosidad y precisión requerida en el desarrollo de los modelos BIM arquitectónicos es lograda según el nivel de manejo de las herramientas y de los conocimientos en los procesos constructivos, pues al ser un modelo virtual la “copia fiel” de la realidad, la experiencia desde la práctica profesional empieza a jugar un papel importante, ya que de esa experiencia se nutren los modelos de datos, lo cual aporta un mayor grado de confiabilidad de la información y la integridad del mismo. No obstante, la encuesta realizada por la presente investigación refleja un alto porcentaje de capital humano joven o recién egresado que hace uso de BIM en sus prácticas laborales actuales (35.2%) (ver anexo1, imagen 104, pág. 310), y ese desconocimiento del proceso de construcción llevan a producir modelos poco confiables.

En ese sentido, y entre tantos, hay un reto importante para mejorar los niveles de interoperabilidad entre estas disciplinas, donde es preciso involucrar a la academia de educación superior. Los arquitectos en su formación profesional de pregrado requieren elevar sus conocimientos enfocados al diseño desde la apariencia y la estética a un nivel mucho más técnico en relación a los procesos contractivos. Pues los vacíos de quien hoy representa el mayor número de personas que modelan los proyectos al interior de las organizaciones, se sufren por la falta de conocimiento en el desarrollo de una edificación. Hay que entender que, en la actualidad, el papel del dibujante ha pasado a ser el de modelador de un entorno construible, lo que efecto requiere de una mayor precisión técnica.

Desde el manejo de las herramientas también hay una brecha importante. Aunque se presuma que el arquitecto lleva una gran ventaja en cuanto a la adopción de la metodología BIM en el país, lo cierto es que el ingeniero estructural metálico tiene una superioridad en el manejo de las herramientas paramétricas, pues, tal como se menciona en el subcapítulo 2.1.2, los especialistas en estructuras de acero hacían uso de estas plataformas BIM aun cuando en Colombia ni siquiera se escuchaba hablar del término BIM. Y eso también es un desequilibrio que afecta la interoperabilidad, aunque día tras día, las formaciones a través de cursos cortos, avezados y demás se logra disminuir la brecha.

Por otra parte, el arquitecto F. Posada (2020), considera que hay reto importante y es lograr la promesa con la que se ha venido difundiendo BIM. En el trabajo colaborativo aún hay muchas situaciones por resolver, en especial en lograr involucrar a las disciplinas del proyecto en un único modelo, bajo un solo archivo. Esto favorecería, puntualmente a la comunicación entre las disciplinas en cuestión porque las respuestas van a ser más acertadas, más rápidas, incluso más sinceras.

De lo dicho por F. Posada (2020), OpenBIM es el camino a seguir, pues los beneficios que promete al aumentar el trabajo colaborativo, a partir de la adopción de formatos abiertos, donde las disciplinas puedan participar en el desarrollo de una edificación sin estar condicionados a una marca específica de su tecnología, promueve la transparencia en los procesos, además que asegura una mayor eficiencia y productividad.

## **5.5 Caso de estudio: Empresa Doblamos S.A**

Como elemento de análisis, se toma a la empresa Antioqueña Doblamos S.A., una compañía especializada en la transformación del acero, que a través del diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas ha aportado de forma considerable al desarrollo de la construcción en Colombia y en Medellín particularmente.

El apogeo de edificaciones en acero, la construcción estandarizada y en serie, ha sido uno de los elementos claves por los cuales Doblamos se ha destacado en el medio. Como fabricante y transformador de elementos metálicos, Doblamos ha visto la necesidad a través del tiempo de incorporar modernos métodos de automatización para lograr una mayor eficiencia y respuesta frente a la demanda de trabajo. Maquinas CNC, taladros magnéticos y herramientas avanzadas de modelado paramétrico son unas de las tantas soluciones tecnológicas que ha incorporado la compañía para atender sus necesidades y las de sus clientes.

Lo anterior, enfocado a la necesidad de automatizar los procesos, ha hecho que compañías como Doblamos tomen ciertas ventajas en el uso y adopción de herramientas tecnológicas con respecto a otros sectores y actores de la misma industria de la construcción (arquitectos, ingenieros MEP, constructores, interventores, etc.). Mientras Doblamos ha usado desde el año 2011 el software BIM Tekla Structure, tan solo hasta el 2015 (4 años después) se evidencia por la presente investigación el primer registro que mide el nivel de BIM en el ejercicio práctico en Colombia, que evidentemente da como resultado, niveles muy bajos de adopción, donde los arquitectos apenas inician el camino en el uso de estas nuevas plataformas BIM.

Lo anterior solo ha significado esfuerzos adicionales por parte de Doblamos al momento de interactuar con otras disciplinas/compañías que intervienen en el proceso de diseño de una edificación. Si bien, Doblamos requiere del manejo de software paramétricos capaces de comunicar su información con las máquinas CNC, proceso primordial de la automatización de su flujo de trabajo, los arquitectos, con quienes participan mayormente, aún se niegan a usar herramientas BIM o cuando hacen uso de ellas, se evidencian vacíos en el conocimiento del uso de formatos abiertos, lo cual los ha llevado a realizar métodos de comunicación no propios de BIM, que desvirtúa el objetivo de la metodología.

En ese sentido, la comunicación entre Doblamos y las otras compañías ha sido durante mucho tiempo, incluso en la actualidad, a través de planos digitales ya sea en DWG o PDF que, además de los esfuerzos adicionales, incrementan el riesgo de mala lectura al momento de reconstruir la información, sea por mala interpretación o por errores de dibujo producidos en los planos que llevan al mal desarrollo de la ingeniería, así como a su fabricación y montaje. Una “bola de nieve” que desencadena altas pérdidas económicas.

Los errores y esfuerzos producto de lo anterior, por supuesto podrían evitarse, si la información se comunica a través de modelos BIM, lo cual mejoraría el entendimiento del proyecto y daría menos espacio a la mala interpretación, siendo finalmente el propietario y el proyecto los mayores beneficiados como bien se ha dicho. Es importante señalar que los entornos de trabajo donde participa Doblamos o compañías similares que hagan uso de herramientas paramétricas particulares, se someten a un flujo de trabajo abierto donde es indispensable el conocimiento acerca del uso de formatos abiertos y del concepto OpenBIM que ponga el término de interoperabilidad en el centro a toda la cadena de actores.

Esos retos que afronta el ingeniero de estructuras metálicas, además de los altos beneficios que podría obtener no solo una compañía si no la industria de la construcción en general al obtener una fluida comunicación dentro de un entorno de trabajo BIM, es lo que motivó a elegir esta empresa como caso de estudio.

### **5.5.1 Metodología**

El análisis del caso de estudio en particular tiene como finalidad **identificar la forma en que las diferentes empresas o profesionales que hacen uso de la metodología BIM en sus prácticas laborales actuales, comparten y comunican**

**la información contenida en los modelos BIM** con las demás compañías o disciplinas con quien colaboran. Además de lo anterior, en la empresa Doblamos S.A se busca determinar las consecuencias y las oportunidades de la comunicación e interoperabilidad en el campo de la construcción, a partir de la revisión de los flujos de trabajo actuales entre la organización y otras compañías. Consiguiente a esto, se busca generar aportes para el mejoramiento de los procesos de interoperabilidad y comunicación entre las disciplinas y profesionales asociados al diseño arquitectónico y estructural, dentro de un entorno BIM abierto.

Para llevar a cabo lo mencionado, es necesario realizar en principio un acercamiento a la empresa e identificar sus problemas, oportunidades y valores, además de extraer información por medio de entrevistas, conversatorios, documentos y lo demás medios necesario para analizar su interoperabilidad desde los aspectos humanos hasta tecnológicos.

Ampliando lo anterior, en los aspectos humanos, se busca identificar las relaciones que se dan entre los ingenieros desarrolladores de la estructura metálica de la compañía con los clientes y demás disciplinas con que colaboran en los procesos de diseño, incluso con las mismas personas al interior de la empresa, así como identificar su estructura organizacional y otros aspectos de análisis importantes. A nivel tecnológico, se busca determinar la manera en la que esta compañía opera con las demás empresas: ¿qué información se transfiere?, ¿bajo qué formatos?, ¿en qué momentos del proyecto?, ¿cuáles son las dificultades?, entre otros cuestionamientos.

Una vez comprendido lo anterior, es posible establecer los retos y las oportunidades a las que este tipo de empresas se someten en la actualidad y a nivel tecnológico establecer los costos asumidos por las dificultades de la comunicación en el entorno BIM bajo los proyectos enmarcados en estos procesos.

Como propuesta para mejorar la interoperabilidad dentro de la filosofía OpenBIM, por medio del caso de estudio se busca evaluar a través de un ejercicio práctico la interoperabilidad entre las plataformas BIM, Autodesk Revit y Tekla Structure. Considerando la primera como el software de uso más frecuente a nivel local para el desarrollo de modelos paramétricos de edificaciones y el que tiene mayor penetración comercial actualmente; y el segundo software especializado para el desarrollo de estructuras.

Con este ejercicio, se busca identificar las dificultades y las oportunidades al lograr una comunicación a través del formato abierto IFC, así como poder establecer

recomendaciones desde la práctica al momento de hacer uso de este archivo abierto.

Finalmente, a partir de las conclusiones se busca generar aportes para el mejoramiento de los procesos de interoperabilidad y comunicación entre las disciplinas y profesionales asociados al diseño arquitectónico y estructural, dentro de un entorno BIM abierto.

### **5.5.2 Descripción de la empresa Doblamos**

Doblamos fue fundada en el año 1984, por tanto, cuenta en la actualidad con 36 años de experiencia, trayectoria y actividad laboral, lo que la destaca hoy día al ser una de las compañías con mayor tradición ferretera en Colombia.

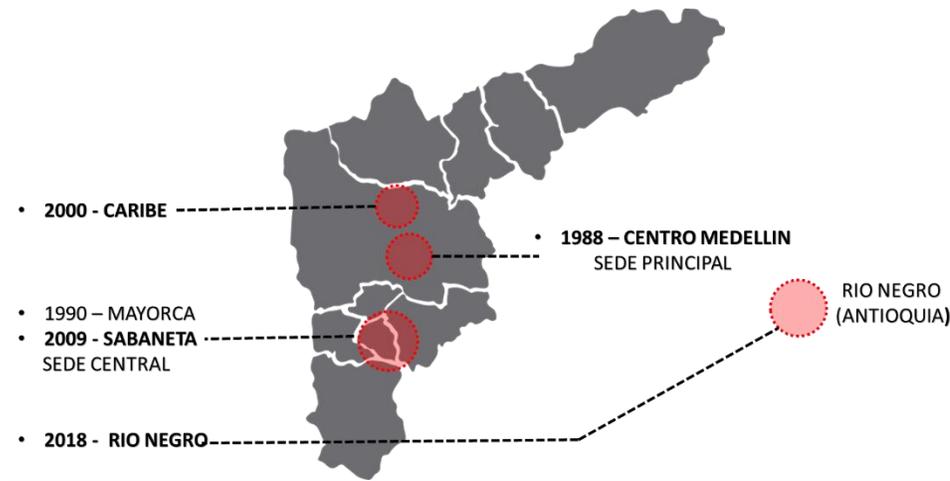
La empresa fue establecida en sus inicios en el centro de la ciudad de Medellín (Antioquia), ubicada sobre la avenida Carabobo con calle 39, cerca al barrio de Santiago. Sus actividades allí nacieron bajo una perspectiva y vocación de servicios, ofreciendo al mercado cortes de láminas metálicas, doblez y punzonados, bajo el uso de pequeñas herramientas como dobladoras y pantógrafos, las cuales les permitían atender las solicitudes de sus clientes y realizar diversas labores, que iban desde cortes de láminas para carrocerías de automóviles, hasta doblez de láminas para el desarrollo de cilindros metálicos.

La vocación de servicios bajo la que fue concebida requería de un mayor acercamiento a sus clientes, que en su mayoría pertenecían a la industria minera y a pueblos cercanos de la ciudad, situación que los llevo a expandirse a las periferias de Medellín y buscar sitios estratégicos para atender la población que venía desde esas regiones cercanas y no ingresaba al centro de la ciudad. Por tanto, en el año 1990 instalan una nueva sede al sur del Valle de Aburra, inicialmente en municipio de Itagüí, ubicada en un lote contiguo a la empresa Gecolsa CAT sobre la carrera 48 (Av. Las vegas) con calle 52 sur, allí funcionaron en una pequeña bodega alrededor de 19 años hasta trasladarse al municipio de Sabaneta Antioquia en el año 2009, donde funciona hoy la sede Central de la compañía.

Para el año 2000 se expandieron al norte de la ciudad, donde constituyeron la sede el Caribe. Sin embargo, el deterioro de la zona y los cambios de uso del sector, llevaron al cierre de esta sede en el año 2017, aunque fue trasladada al departamento de Río Negro Antioquia en el año 2018, la que es considerada

actualmente el “jalador” de Doblamos, dado que sus propietarios están convencidos que el futuro de la empresa está en las regiones y no en la Ciudad.

Imagen 49: La expansión de Doblamos S.A. en Antioquia



Fuente: Mapa del Valle de aburra <https://datosabiertos.metropol.gov.co/> - Modificación de los puntos de ubicación

Actualmente la compañía cuenta con 4 sedes, y la imagen 49 representa la evolución de la empresa en el departamento de Antioquia a lo largo del tiempo. Una expansión que, como bien se dijo anteriormente, fue estratégica en búsqueda de llegar a los clientes de las regiones cercanas y atender sus necesidades.

### **La integración de Doblamos al campo de la construcción.**

Los servicios prestados, como doblez, cortes y punzonados de láminas metálicas permitieron a la empresa realizar actividades que cambiaron la perspectiva de sus fundadores, sobre las labores prestadas y su modelo de negocio. Un ejemplo de esto es el uso particular que le dieron a los cilindros realizado bajo el doblez de láminas metálicas, que, al ver un mayor potencial en estos elementos, la empresa inició la producción de taques metálicos de abastecimientos de agua para ofrecer al mercado. Estas y otras actividades como cortes de pequeñas laminas para cerraduras, dieron la idea de una producción masiva y estandarizada.

Esa ambición y motivación de los propietarios fue lo que los condujo a la industria de la construcción, viendo en este campo un nicho de mercado. Es así como en el año 1998 nace una nueva dependencia en Doblamos; el departamento de ingeniería se estableció bajo la integración de un ingeniero civil, algunos especialistas de diseño, y la incorporación de herramientas tecnológicas, como AutoCAD, que permitían una mayor producción y productividad en el desarrollo de sus actividades

y dar respuesta oportuna a sus clientes. De esa manera conformaron un pequeño grupo de ingeniería, que estuviera en la capacidad de procesar planos, diseñar y brindar servicios de ingeniería y construcción al mercado.

Si bien desde la fundación de la dependencia de ingeniería la empresa contaba con herramientas tecnológicas como computadores y plataformas especializadas para la producción y desarrollo de sus diseños, al tiempo realizaban dibujos planimétricos a mano, aunque no de forma convencional, ni instrumental. Estos eran desarrollados a mano alzada por uno de sus dibujantes, quien tenía la destreza para resolver mediante el dibujo geometrías complejas, como desarrollos de escaleras curvas o en espiral, etc., y de la misma forma producir información planimetría de alzados, isométricos y cortes para la fabricación. Esto permitió a la empresa hacer estructuras que pocos en la ciudad estaban en la capacidad de realizar, de modo que la compañía destacó en el entorno local desde sus inicios. Sin embargo, la producción de la información era muy limitada y la productividad muy baja, pues estos sistemas y métodos de producción les permitía responder ante sus clientes entre 50 a 70 toneladas mensuales.

Además de esas limitaciones en la producción de dibujos planimétricos, también generaban múltiples errores en la fabricación ya que los procesos eran totalmente manuales y artesanales. La comunicación entre el área técnica de diseño y la planta de producción se realizaba mediante planos en papel, lo que demandaba un proceso riguroso por parte del técnico encargado de la fabricación. Por ejemplo, la producción de una serie de cerchas requería en principio de un primer molde, el cual se trazaba en el piso por medio del uso de una tiza, y luego era usado como plantilla de calque para el corte de las demás piezas necesarias.

Las perforaciones en las láminas metálicas requerían de un proceso similar y eran realizados a través de pantógrafo o taladro magnético. Una labor también manual que requerían por parte del encargado en producción de realizar una rigurosa lectura de los planos, tomar cada una de las medidas sobre el papel y trasladar la información de manera precisa a cada una de las partes. Esto provocaba múltiples errores y un largo tiempo invertido en la producción de las estructuras. No obstante, de esta forma respondió la empresa por varios años al desarrollo de proyectos de baja envergadura como pérgolas, escaleras, pequeñas bodegas y demás.

Entre los años 2001 y 2005, se dio una mayor demanda por parte del sector de la construcción a nivel local. En Medellín se iniciaron obras de mayores proporciones en estructuras metálicas, lo que brindó la posibilidad a la empresa Doblamos de

participar en el desarrollo y construcción de grandes edificaciones a nivel de la ciudad; en los proyectos más grandes en los que participó su aporte oscilaba entre 200 a 250 toneladas.

De acuerdo a H. Posada (2020) director del departamento de ingeniería, a partir del año 2005, la empresa inició su participación en proyectos de mayores proporciones, dado a la misma demanda por parte de la industria y la confianza generada en las estructuras en acero, que generó más competitividad, una evolución en el planteamiento de las estructuras y mayores pretensiones por parte del arquitecto, pues sus planteamientos buscaban salir de los modelos de estructuras tradicionales de cerchas, remaches, ángulos etc., a plantear estructuras más “limpias”, imponiendo un mayor grado de complejidad en su desarrollo.

Lo anterior planteó la necesidad de adoptar nuevas herramientas que brindaran la posibilidad de responder a las dinámicas y complejidades de los proyectos, además, de la demanda del sector. Por tanto, la empresa Doblamos toma la decisión de incorporar nuevas aplicaciones tecnológicas para llevar a cabo sus labores de producción y fabricación. Software como Inventor, SAPP 2000, STAAD, las cuales les concedían soportar mayores capacidades de trabajo y rendimientos es sus actividades, además, les permitían realizar modelos en tres dimensiones (3D) de análisis y visualización. Lo que provocó un gran reto a la compañía el hecho de pasar de una herramienta de dibujo 2D, incluso dejar la mano alzada, a producir proyectos modelados en 3D, que se aplicaban a todas las escalas de producción de edificaciones. Un camino similar al que recorrieron todas las empresas metaleras en Colombia.

El software AutoCAD no fue dejado de lado, y esto se debe al poco aporte que los modelos 3D brindaban en el momento. Tanto así que los consideraban como “inertes”, pues solo les concedían visualizar y tener una referencia espacial, pero no les permitían generar planos a partir del mismo modelo. Una cercha modelada en 3D solo servía para visualizarla mas no para producir información pertinente a su desarrollo y exportar los planos de fabricación, esto los conducía a realizar nuevamente las actividades, aunque esta vez en AutoCAD, y de este modo compartir la información a la planta de producción. Finalmente, les producía un doble trabajo y un mayor tiempo invertido en el desarrollo de los proyectos. Además de los errores que se ocasionaban, tantos que podían comparar este método con los productos en los dibujos a mano que iban desde falta de cotas en los planos que limitaban la producción de las piezas, hasta inconcordancias y redundancias en la información.

Esas prevenciones sobre los errores provocaban un control de calidad exhaustivo y robusto, se requería una fiscalización sobre cada uno de los planos, que garantizara no pasar por alto errores de dibujo para que estos no fueran trasladados a la fabricación y montaje de los elementos, donde los costos son más altos y hay poca capacidad de maniobra.

Sin embargo, así realizó Doblamos sus procesos de desarrollo y producción en diversos proyectos en los que fue participe en la época. Entre esos proyectos se destacan Agro Green en el Valle del Cauca, otros en la ciudad de Medellín como centro comercial los Molinos, cubiertas en proyectos comerciales, el desarrollo y ejecución de la escalera de evacuación del SENA, fachadas del edificio Bancolombia y algunas plataformas industriales. La demanda por parte del sector de la construcción requería un grado mayor de precisión sobre la información que se desarrollaba. Lo que requirió procesos de industrialización más avanzados que no dan cabida al trabajo manual, por tanto, se necesitó de una conexión digital entre las plataformas de dibujo y las máquinas de producción, lo cual dio pie a la introducción de herramientas paramétricas y máquinas CNC, así como una mayor rapidez en el desarrollo de los proyectos, y aumentar la productividad que para este entonces respondían entre 200 a 250 toneladas mensuales.

*Imagen 50: Adopción tecnológica por parte de la empresa Doblamos*



*Fuente: Elaboración propia*

La imagen 50 además de ejemplificar a través de una línea de tiempo lo mencionado, evidencia como después del año 2011 los propietarios de la empresa, muy visionarios, percibieron en los avances tecnológicos la oportunidad de dar mayor respuesta y aumentar la capacidad de fabricación de las estructuras

metálicas para superar los números de producción que hasta aquel entonces se desarrollaban a través de procesos manuales o bajo la mano dependencia de sus labores.

Por tanto, después del 2011 Doblamos incorporó en sus procesos de trabajo, el software Tekla Structure como herramienta de trabajo para el desarrollo de sus actividades dado al potencial que este software brinda en cuanto a la comunicación con las maquinas CNC. Lo que transformó la capacidad de producción, pasando de producir alrededor de 200-250 toneladas mensuales a 500 toneladas por mes.

Imagen 51: El impacto de la adopción tecnológica en la empresa Doblamos



Fuente: elaboración propia

Los beneficios no se vieron solo en la fabricación, la integración de esta nueva herramienta aumentó la productividad y la capacidad de responder al alto flujo de información que demandan los proyectos, además de poder comunicar la información producida con los actores que participaba en los procesos.

La imagen 51, refleja el impacto que ha tenido la evolución tecnológica a lo largo del tiempo en la empresa Doblamos. Donde la tecnología ha jugado un papel fundamental en el aprovechamiento de oportunidades, las necesidades cambiantes del cliente y la demanda de los proyectos actuales.

Esta empresa considera que la productividad en la compañía ha venido acompañada de 3 aspectos fundamentales derivados de la evolución tecnológica, numerados como siguen:

1. La capacidad de acceder a herramientas de procesamiento digital a bajo costo.
2. Los avances computacionales que han dado soporte la información requerida por los proyectos de construcción cada vez más complejos.
3. La evolución de las herramientas paramétricas que han optimizado la producción y el procesamiento de dibujo.

Si bien la evolución tecnológica ha acompañado la historia de Doblamos, y en 2011 ya incorporaban herramientas paramétricas de procesamiento digital, solo hasta el año 2018 la compañía empezó a escuchar y hablar de BIM lo que los hace muy noveles en el tema BIM como metodología de trabajo. Sin embargo, la empresa actualmente viene asumiendo este nuevo reto, tanto es así que en sus desafíos de desarrollo el taller de ingeniería proyecta no utilizar planos físicos en un futuro no lejano.

Solo hasta 2019 reciben el primer proyecto BIM, Ciudadela Universitaria de Occidente y en ese mismo año reciben otro, llamado Edificio Porto marine.

### **Líneas de negocio**

El crecimiento y las oportunidades vistas a través del tiempo, son las razones por las cuales en la actualidad Doblamos se ha expandido en diferentes líneas de negocios, que llegan a distintos públicos y atienden diversas necesidades. Tal como lo muestra la imagen 52, concretamente la compañía se divide en 4 líneas de negocio, las cuales brindan soluciones de ingeniería, fabricación, construcción y montaje de infraestructura a través de la transformación y soluciones en acero. Servicios, estructuras metálicas, venta de acero y fachadas metálicas son las diferentes estrategias a partir de las cuales la compañía busca atender los requerimientos de un mercado tan exigente y cambiante como el actual.

Imagen 52: Unidades de negocio Doblamos S.A



Fuente: Elaboración propia

### Línea de Servicios

La línea de servicios es la más antigua de toda la estructura comercial de Doblamos, de hecho, es la vocación bajo la cual fue concebida la compañía. Esta unidad atiende un público bastante diverso, yendo desde el cerrajero que hace puertas, ventanas, rejas, o el propietario de un vehículo que requiere de un arreglo para para el chasis de su carro, hasta las compañías de mantenimiento de una empresa que buscan servicios mucho más amplios y complejos.

Dentro de esta línea, actualmente la compañía ofrece diferentes servicios, entre esos, los dobles de láminas metálicas, corte, cilindrado, corte y perforado; actividades que tiempo atrás se desarrollaban bajo técnicas y maquinarias totalmente manuales. Hoy Doblamos cuenta con máquinas de alta precisión para realizar cada una de las actividades, lo que les permite dar una mayor confiabilidad a sus clientes.

Entre las diferentes tecnologías usadas en los procesos, la imagen 53 muestra una punzonadora TRUMPF 500 dotadas de 2 mesas de trabajo que permiten el manejo de láminas hasta de 6 mts de longitud. Maquinaria con esta capacidad significa tener procesos más rápidos con menores desperdicios al obtener el máximo provecho del material.

*Imagen 53: Producción de la línea de servicios*

*Fuente: Empresa caso de estudio*

### **Línea de ventas de acero**

A través de la unidad de negocio de ventas de acero la compañía comercializa diferentes materiales para la industria metalmecánica y construcción. Entre una gran variedad de productos, ofrece tuberías, laminas, barras de refuerzo y otros elementos que cumplen los estándares de calidad exigidos por las normas nacionales.

Los procesos realizados bajo esta línea de negocio están enfocados a los despachos y pedidos, y son manejados a través de un grupo de trabajo que coordina con los clientes y la planta de fabricación acerca de las necesidades puntuales de cada requerimiento. Así, existe un director encargado de la venta y los vendedores de servicios.

### **Línea de fachadas**

Esta unidad de negocio resulta ser la más nueva para la compañía, surgió a partir del potencial que la empresa vio sobre sus maquinarias, pues la precisión, la optimización y la calidad de los cortes sobre las láminas metálicas despertaron el anhelo de tener un mayor acercamiento al proyecto arquitectónico.

Bajo esta línea se ofrecen a la industria de la construcción fachadas modulares, las cuales pueden tener una diversidad de patrones perforados sobre las láminas, incluso personalizados a la medida y gusto de cada cliente. Un ejemplo de lo anterior es lo que se muestra en la imagen 54.

Aquí el uso de la tecnología juega un papel más que importante, primordial, pues sin el uso de ellas difícilmente se lograrían soluciones tan versátiles además de ágiles, condición actual del mercado, por la alta demanda, y la velocidad con la que se construyen en este momento los proyectos.

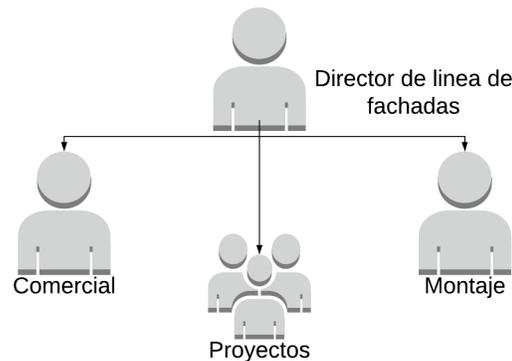
Imagen 54: Producción de paneles de fachadas



Fuente: Empresa caso de estudio

Los cortes a laser bajo el uso de máquinas CNC son posibles gracias a la comunicación de las plataformas tecnológicas de dibujo o modelado con las máquinas en la planta de producción, en este caso, el uso de una herramienta BIM como Tekla, hace posible la versatilidad de las perforaciones, lo cual le ha abierto a la empresa un nuevo nicho en el mercado.

Para la producción de este tipo de elementos, se requiere de un conjunto de personas que acompañen diferentes procesos. Entre esos un director de la línea, el personal de producción de proyectos que se enlaza con la línea de estructuras, y el personal de montajes. Gráficamente, esta estructura funcional podría representarse como lo refleja la imagen 55.

*.Imagen 55: Estructura línea de fachadas**Fuente: Elaboración propia*

**El director de la línea de fachadas** es el responsable frente a la gerencia general de los resultados, ventas, y de la satisfacción del cliente.

**La línea de proyectos** comprendida por los modeladores y fabricantes, son los encargados de materializar lo solicitado por el cliente.

**El personal de montaje** es el encargado de poner en sitio todo lo producido, asegurasen de la correcta instalación y demás condiciones técnicas acordadas

### **Línea de estructuras**

Esta unidad de negocio es la que atiende todos los temas relacionados al desarrollo de las estructuras metálicas, entre el diseño, la fabricación y la puesta en sitios de los elementos de acero, por tanto, es la que mayor tecnología requiere para dar cumplimiento y desarrollo a las actividades, además es la que más requiere interoperar con otros modelos organizacionales, puntualmente en BIM, donde OpenBIM se presenta como el mejor escenario para lograr esa conexión requerida entre las plataformas usadas por la empresa y la demás con que colabora.

Lo anterior hace a esta línea la de mayor interés por la presente investigación, sin desconocer que los procesos y la labores comprendida en las demás unidades de negocio sean importantes, pero esta específicamente comprende todos los componentes del estudio. Pues los procesos de ingeniería, diseño y fabricación

requieren de una comunicación e interoperabilidad constante con otros actores de la industria como los clientes y los arquitectos especialmente, donde además de la comunicación personal entra en juego la interoperabilidad tecnológica para lograr de forma eficiente lo que se pretende desarrollar conjuntamente.

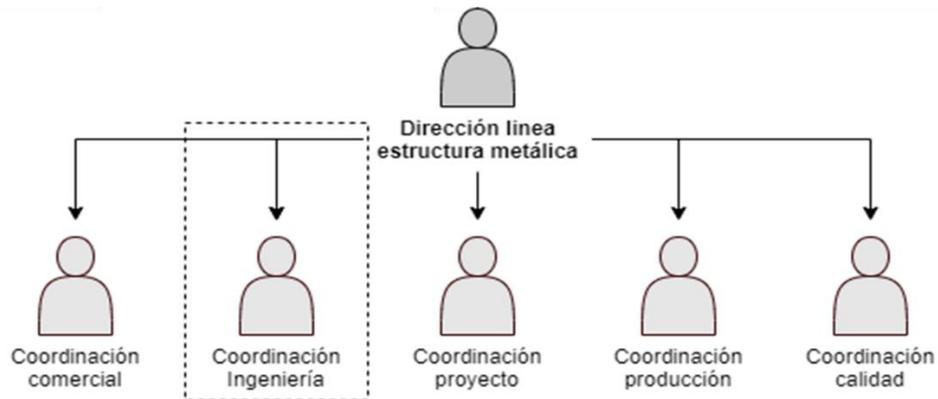
En Doblamos el uso de tecnología de punta en los procesos de ingeniería y fabricación ha permitido a la empresa garantizar la precisión y calidad de los productos, optimizando los tiempos de entrega y el cumplimiento de las normas, lo que ha aumentado la demanda de sus servicios, logrando responder cada vez más a un mayor número clientes, así como de proyectos de diferentes usos, entre comerciales, industriales, educativos, infraestructura y minero.

Las labores de esta línea se apoyan en programas sofisticados de cálculo estructural, de dibujo y modelado, que permiten desarrollar proyectos con alta confiabilidad y precisión, facilitando los procesos de calidad, despacho y montaje. Entre los softwares usados, se cuentan SAP2000, TEKLA Structure, Auto CAD.

Cada uno de ellos apoyan procesos puntuales, por ejemplo, SAP2000, permite generar los análisis de la estructura una vez ingrese el proyecto arquitectónico a la compañía, TEKLA Structure es el software con el cual el equipo de ingeniería apoya aproximadamente el 80 % de sus actividades, pues como se ha mencionado, esta herramienta de modelado es la que permite la confección con las máquinas CNC de planta de fabricación. AutoCAD también cumple un papel importante en el dibujo y detallado de los planos.

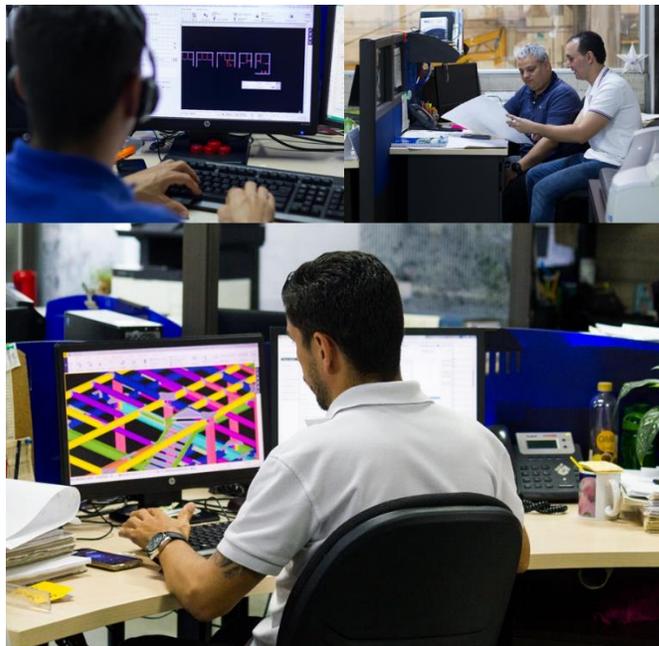
Sin embargo, los procesos, solo con el uso de tecnología no podrían desarrollarse, se requiere de personal altamente capacitado y preparado, que haga buen uso de las herramientas tecnológicas, de estrategias comerciales, relaciones profesionales y demás.

Estructuralmente la línea está conformada por una dirección general, la cual es la responsable del desarrollo y producción de los proyectos de construcción, además de un conjunto de coordinadores encargados de desarrollar junto con sus equipos todos los requerimientos del director y del cliente (imagen 56).

*Imagen 56: Estructura funcional*

*Fuente: Elaboración propia*

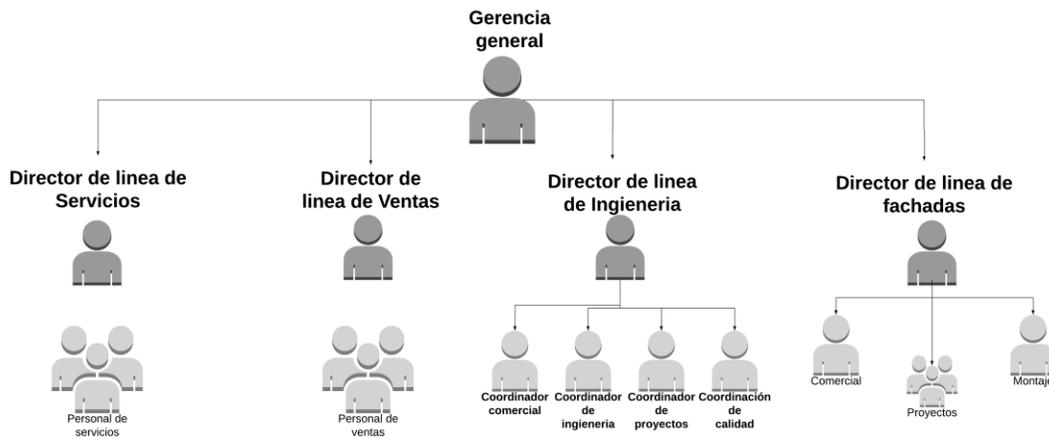
Las siguientes imágenes reflejan el taller de ingeniería y lo que allí se labora.

*Imagen 57: Taller de ingeniería Doblamos*

*Fuente: empresa caso de estudio*

Finalmente, la estructura de la organización puede representarse de la siguiente forma:

Imagen 58: Estructura organizacional



Fuete: Elaboración propia

Como lo muestra la imagen 58, la estructura de la organización se representa de forma piramidal, encabezada por una gerencia general, los directores de cada una de las líneas de negocio y más abajo el personal encargado de las ventas, producción y operatividad de las labores realizadas al interior de la compañía.

Aunque pareciese que las líneas de negocio de la compañía estuvieran totalmente desvinculadas, lo cierto es que hay una relación constante entre cada una de ellas, que se da a partir de políticas organizacionales, las cuales tienen como objetivo que el responsable de una línea siempre busque vender las demás unidades de negocio. Por ejemplo, en caso de que el gerente estructural, encargado de la línea de estructura, esté participando en el desarrollo de un proyecto, deberá buscar la oportunidad de involucrar las demás líneas, y esto a través del ofrecimiento al cliente de las fachadas metálicas, o la venta de acero o la oferta de algún tipo de servicio.

La otra manera en que se relacionan las líneas es a través de los comités primarios que desarrollan al interior de la compañía cada determinado tiempo, en la cual se busca comunicar entre los directores de las demás unidades, los proyectos en los que cada uno está participando y así se discuten la posibilidad de involucrar una línea adicional en cualquier proyecto.

Aunque la línea de fachadas y de estructuras parecieran ser las más cercanas, otras como las de servicio y venta tienen un rol importante dentro de todo el “engranaje”

de la compañía, pues el área de ventas, por ejemplo, se encarga de suministrar a la planta todos los insumos para que la fabricación de un proyecto desarrollado a través de la ingeniería, mantenga el material suficiente en fabrica para realizar el proyecto en los tiempos estimados.

### **5.5.3 La automatización en los procesos de diseño y fabricación**

La industrialización y la respuesta a la demanda de trabajo a través de la automatización de los procesos ha significado para la empresa Doblamos estar vigentes en el tiempo y ser competitivos en la actualidad dentro de una industria tan exigente y cambiante, así lo considera H. Posada (2020).

En ese mismo sentido, la automatización de los flujos de trabajo le ha permitido a la empresa aumentar la precisión y el rigor en los cortes sobre los componentes metálicos, lo cual hace parte del requerimiento de las estructuras metálica contemporánea. De la misma forma en que se conciben y se desarrollan las edificaciones desde la arquitectura hoy día, las estructuras en acero igualmente vienen cambiando y han dejado atrás las uniones en soldaduras por métodos de anclajes y fijaciones atornilladas, buscando por su parte, mayor “elegancia”, limpieza, y agilidad en el armado, lo cual disminuye los tiempos en la construcción. Sistema, que el mismo H. Posada (2020), dice ser necesariamente más preciso y de cuidado, pues un error visto durante la puesta en sitio puede significar pérdidas sustanciales de dinero para el proyecto por el aumento del plazo, así como para el fabricante por tener que rehacer las piezas en algunas ocasiones, por tanto, una vez evidenciado el error en obra se tendrá que desmontar y llevar nuevamente la pieza al taller.

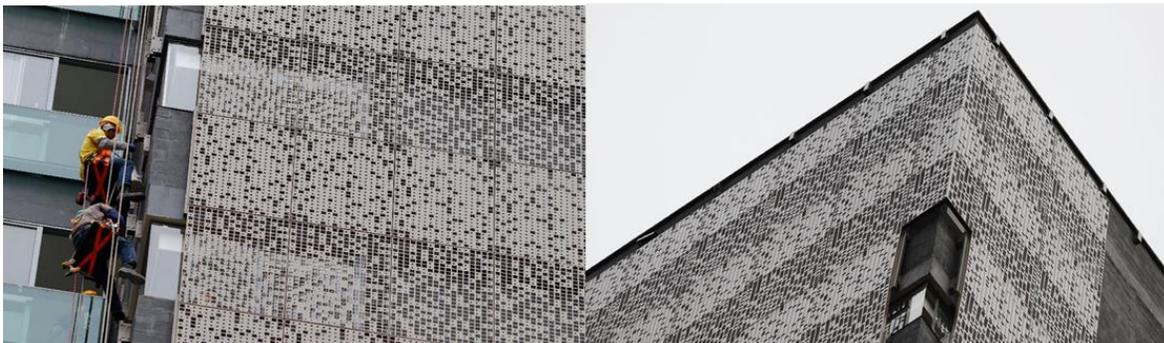
De acuerdo a lo anterior, la precisión y rapidez que requieren hoy día el desarrollo de las estructuras es soportado al interior de la compañía gracias a la integración de la plataforma BIM Tekla Structure y a la conexión que esta herramienta tiene con las maquinas CNC a las plantas de fabricación; relación conjunta que permite la automatización de la información. Si se usara únicamente Tekla, se perdería la precisión con la que hoy se fabrica, ya que la comunicación entre el taller de diseño y la planta de fabricación sería bajo planos impresos de lo desarrollado en Tekla, donde las perforaciones cortes y demás, se realizarían manualmente, por ejemplo el fabricante del taller que requiere desarrollar una determinada pieza necesitaría medir en el plano y trasladar a la lámina lo plasmado en el papel y por tanto los procesos de corte, perforados y demás, estarían sujetos a errores humanos

(interpretaciones), errores de dibujo y otros. El uso de las tecnologías mencionadas también ha permitido a la compañía ser más eficiente en cuanto los costos de producción, tareas como la limpieza, cortes o perforados que en tiempos anteriores requerían de una cantidad de 10 a 15 personas para el desarrollo una labor, en la actualidad se realizan con 1 o 2 personas, lo cual significa menores costos en operación para la empresa o una mayor eficiencia de su personal, porque las demás personas pueden estar distribuidas en otras actividades.

En definitiva, la automatización ha permitido a Doblamos participar en proyectos de gran envergadura, ser competentes y responder a sus clientes en tiempos tan ajustados como los que en ocasiones requieren los proyectos.

Por otra parte, la automatización le ha permitido a la empresa buscar otros nichos de mercado, como es el caso de las fachadas metálicas (imagen 59), ya que la precisión, calidad y la rapidez con las que se requiere trabajar en una obra de construcción solo es lograda a partir de la implementación tecnológica.

*Imagen 59: Fachadas metálicas Doblamos*



*Fuente: empresa caso de estudio*

Puntualmente, el uso de Tekla que conduce a la creación de un modelo 3D rico en información le concede a la empresa la posibilidad de automatizar la información de cualquier entregable 2D, y eso significa disminución en los tiempos de diseño que beneficia no solo a la empresa si no al mismo proyecto en general. Al tener la oportunidad de extraer la información de un modelo 3D, se garantiza la coherencia de la información, lo que ha significado para Doblamos disminuir los desperdicios, agilizar las compras, enviar de manera ágil y organizada la información a la planta de fabricación, controlar los despachos a obra, y demás beneficios.

En conclusión, de algunos de los beneficios que la automatización le ha brindado a Doblamos se mencionan los siguientes:

- Ser competitivos en el medio.
- Participar en proyectos de grandes escalas.
- Atender las exigencias del mercado.
- Aumentar la productividad.
- Disminuir los tiempos de respuesta frente al cliente.
- Disminuir desperdicios.
- Reducir los costos de operación.
- Tener mayor control sobre la información producida.
- Brindar confiabilidad al cliente.
- Estandarizar los flujos de trabajo.
- Coherencia en la comunicación entre el taller de diseño y la planta de producción.
- Tener una mayor eficiencia operativa.
- Mejorar la colaboración interna.

#### **5.5.4 El estado de la implementación de la metodología BIM**

Paradójicamente BIM es un tema nuevo para la compañía, pues tan solo fue en 2018 que la empresa conoció la metodología, aun cuando 7 años atrás ya hacían uso al interior de una plataforma de modelado paramétrico que hace parte del entorno BIM, Tekla Structure.

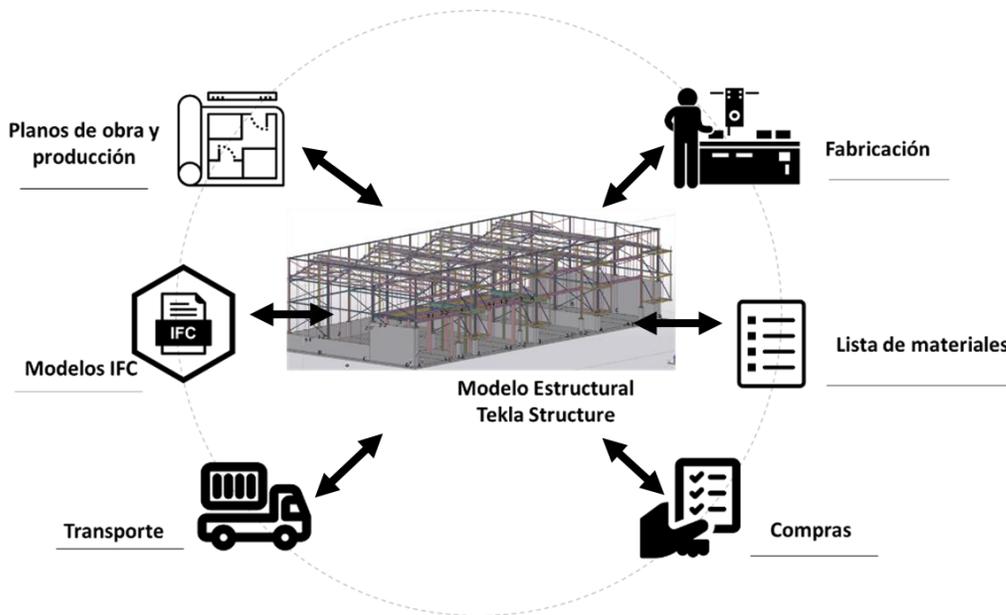
Lo anterior hace que Doblamos tenga procesos muy establecidos y definidos internamente, pero presente dificultades y vacíos en procedimientos de colaboración externa dentro de un marco BIM abierto (OpenBIM); por tanto, no cuenta en la actualidad con protocolos que definan claramente los procesos de comunicación e interoperabilidad bajo modelos de información, pues tan solo en una ocasión se ha topado con un entorno de trabajo en que hacían uso de BIM, Ciudadela Universitaria de Occidente, obra de la Alcaldía de Medellín ejecutada por la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU) de la misma ciudad.

Por lo mencionado, al hablar de BIM en Doblamos se puede hacer dando referencia a los procesos que tienen determinados alrededor del uso del software Tekla

Structure y de los beneficios que la herramienta les presta para diseñar, fabricar y construir las estructuras en acero al interior de la compañía.

En cuanto al manejo de la herramienta, la empresa cuenta con personal altamente calificado para su uso, entre ingenieros y modeladores se encargan de desarrollar los modelos de información que cumplan con las condiciones y necesidades internas, pues siendo concebido como una gran fuente de información, de allí se desprenden, además de los planos entregables en 2D, la demás información con la que se controlan los proyectos internamente: listado de materiales, compras, fabricación, planeación, informes de pesos de la estructura para controlar las capacidades de transporte, los costos asociados a la construcción y fabricación, así como el control y la trazabilidad de las piezas desde que salen de la compañía hasta ser puesta en sitio. Aun cuando el cliente no es BIM, están aprovechando esa base datos que internamente construyen. Tal como lo muestra la imagen 60.

Imagen 60: Procesos BIM al interior de Doblamos



Fuente: Elaboración propia

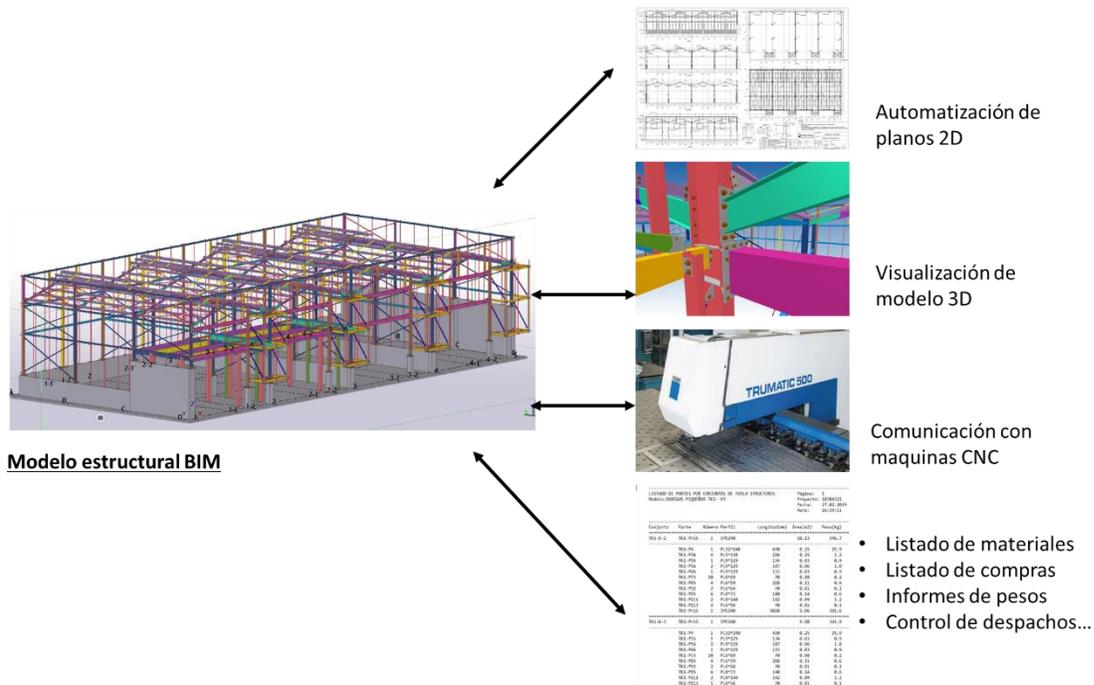
Lo anterior es solo el resultado de los altos beneficios que la compañía ha visto de los procesos de automatización y no solo en virtud de las labores internas, si no para favorecer también al proyecto y a sus clientes.

**Procesos a partir de los modelos estructurales BIM al interior de Doblamos**

Como se menciona anteriormente, hay un aprovechamiento importante de los datos contenidos al interior de los modelos, lo cual ha permitido ahorros significativos de tiempo y reducción de costos por la disminución de errores humanos.

La imagen 61 es a grosso modo el reflejo de los beneficios que los modelos de información otorgan a la compañía actualmente.

*Imagen 61: Los beneficios del modelo BIM en Doblamos*



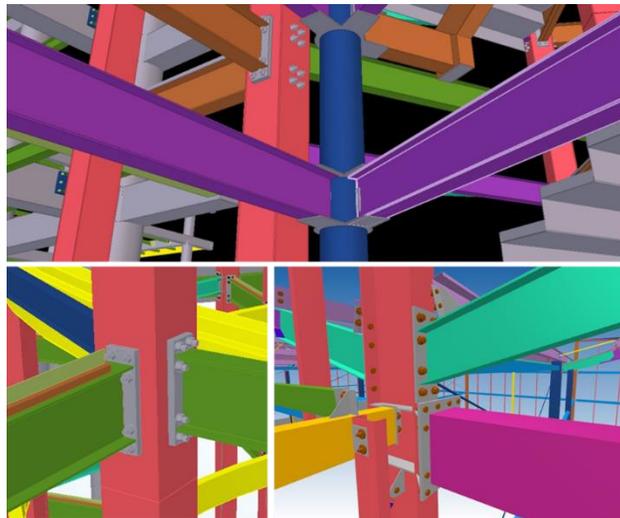
*Fuente: Elaboración propia*

La automatización de los entregables 2D a partir del modelo 3D, ha significado ahorros importantes de tiempo para la ejecución de los diseños, además de crear flujos de trabajo mucho más rápidos. Pues la vinculación de los planos con el modelo, permite evidenciar de manera automática cualquier cambio realizado sobre algún componente, ya sea de altura, espesor o su misma eliminación. Esto hace que los errores se disminuyan y los entregables concuerden con las decisiones tomadas y hechas sobre los modelos.

El alto nivel de detalle que requiere la producción de la información de los componentes estructurales conlleva generalmente una alta inversión de tiempo, sin

embargo, el hecho de desarrollar un modelo altamente detallado como los que se elaboran en Doblamos (imagen 62) permiten generar este tipo de información en tiempos muy cortos lo que también reduce el tiempo de fabricación y entrega de obra.

*Imagen 62: Nivel de detalle del modelo estructural*



*Fuente: Empresa caso de estudio*

La disponibilidad de un modelo 3D le ha permitido a la empresa tomar mayores decisiones en conjunto con el cliente, pues para el propietario del inmueble que en ocasiones no tiene una formación técnica para comprender la generalidad del proyecto a través de planos 2D contar con una volumetría que le permita visualizar las estructuras además de las dificultades expuestas a través del ingeniero le permite tomar medidas certeras, en cuanto a cambios, ajustes y demás pretensiones de su parte.

La comunicación a través de un modelo 3D también le ha favorecido a la compañía para mejorar la interoperabilidad entre el taller de diseño y la planta de fabricación, pues de esta forma los oficiales de armado cuentan con una información detallada y realista, lo que además le ha generado al personal de producción un mayor sentido de pertenencia con lo que están desarrollando, porque el hecho de tener la visión general de lo que están haciendo, les ha permitido cambiar la mentalidad del operario y hacerles entender que ellos no están produciendo tan solo piezas metálicas si no un conjunto de partes que componen la estructura de una edificación.

Un modelo BIM y la información contenida en él, también ha favorecido al análisis de diferentes escenarios y poder implementar mejores soluciones en el proceso de diseño, lo cual otorga un valor agregado para el cliente y para el proyecto mismo. Pues se considera que el mayor beneficio que esta metodología otorga es el hecho de anteponerse a cualquier dificultad antes de que la edificación sea construida, no solo las posibles colisiones y choques entre los componentes de distintas disciplinas sino también el poder planificar y pronosticar a partir de una “maqueta” virtual el cómo se va a construir, identificar los ritmos de trabajo y demás situaciones que permitan tomar correctivos inmediatos. Esto es un costo de oportunidades que se tiene sobre las dicciones al manejar modelos con información disponible para los análisis requeridos.

Algunos de los beneficios de BIM en el proceso de diseño, construcción y fabricación de las estructuras metálicas puede resumirse como sigue:

- Automatización de los entregables 2D.
- Mejorar la comunicación con el cliente, los demás actores involucrados y la planta de producción.
- Disminuir los tiempos de diseño de las estructuras metálicas.
- Automatizar la lista de materiales, compras, etc.
- Ser más eficientes en la planeación de la obra.
- Disminuir los desperdicios.
- Optimizar los costos.
- Mejorar la calidad del proyecto.
- Rastrear automáticamente los cambios.

### **5.5.5 La interoperabilidad en los procesos internos y externos**

Como se ha mencionado en anteriores ocasiones, al interior de Doblamos se desarrollan muy buenos procesos alrededor de los modelos de información, pese a eso, los métodos de comunicación e interoperabilidad con las compañías y/o profesionales externos continúa siendo de forma tradicional; lo que significa que el flujo de trabajo e intercambio de información aún sigue siendo bajo planos en 2D.

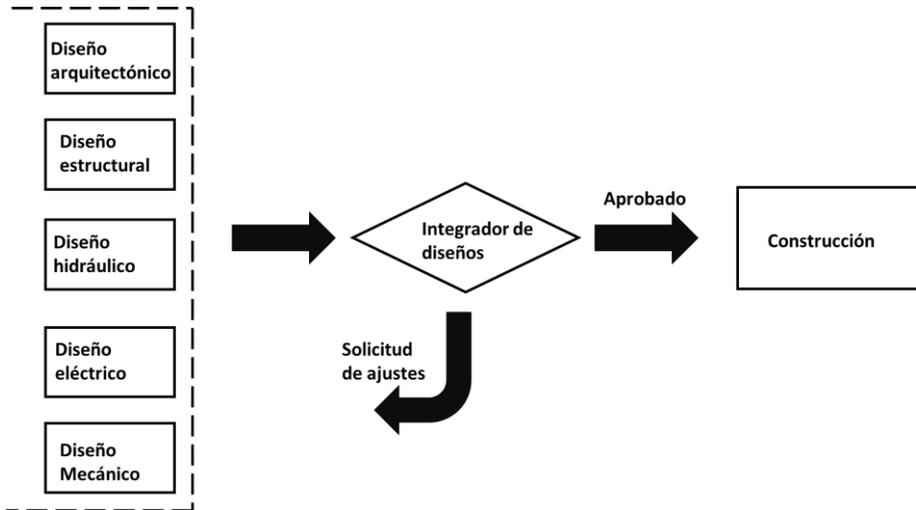
Una dificultad importante evidenciada, es la poca participación en el proceso de diseño de un proyecto, además de la escasa interacción con otros actores de la industria, pues la interoperabilidad se ha limitado a la relación con el cliente o el arquitecto, aun cuando lo que diseña o produce la compañía interfiere con las actividades de otras especialidades, por ejemplo con el ingeniero estructural de concretos hay una información que deben coordinarse desde el diseño, como el anclaje de las estructuras metálicas con la cimentación, o con el hidrosanitario, la definición de los bajantes al momento de diseñar una cubierta metálica o cualquier otra interferencia entre una tubería y la misma estructura, etc.

Aunque más preocupante aun, es que en pocas ocasiones la empresa participa en el proceso de diseño con el arquitecto, que es con quien más debería estar en constante comunicación, pues de muchas definiciones arquitectónicas dependen ciertos aspectos de la estructura. Esto sucede tan solo cuando las dudas son tantas que no pueden continuar con el desarrollo de sus actividades o cuando el cliente no puede trasladar el alto número de inquietudes.

En ese sentido, la comunicación en la mayoría de las ocasiones se da a través del cliente o de quien se delegue o contrate para ejercer las labores de integrador de diseños, que ocasionalmente puede ejercer el interventor o el mismo constructor. Así, la empresa Doblamos emite la información y el responsable de coordinar y superponer todos los diseños se encarga de notificar a los involucrados cualquier novedad o solicitud. Por ejemplo, en el caso que se requiera realizar sobre una viga un pase para alguna instalación, el encargado de la coordinación envía la solicitud a Doblamos, ellos la estudian y dan respuesta según las consideraciones técnicas evaluadas. El mismo procedimiento se hace con cualquier otro requerimiento.

La imagen 63, conceptualmente refleja el proceso mencionado anteriormente.

Imagen 63: Proceso de coordinación de diseños



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, en el proceso de coordinación, la información comunicada hacia el integrador de diseños lo hace bajo planos 2D, lo cual le implica extraer los planos del modelo BIM en formato DWG y emitir al responsable, para que así él pueda sobreponer un plano sobre otro para identificar cualquier interferencia en los diseños, y en caso en que el diseño presente inconsistencias se solicita el ajuste al diseñador responsable o en caso contrario la información se aprueba y se emite a obra.

En ese proceso de comunicación, la información se trasmite a través de correos electrónicos, consultas por WhatsApp u otros medios, pues en ningún caso la empresa ha participado en proyectos en que se haga uso de plataformas de comunicación en la nube, como BIM 360 u otra diferente.

De lo anterior han resultado problemas de pérdida de información, porque los planos no llegan completos, el correo no se comparte con el verdadero responsable, es decir, cualquier anomalía, consulta o solicitud se hace a través del encargado de la coordinación, pero este no trasmite el correo al diseñador arquitectónico, estructural, o al de las cimentaciones. Lo cual, finalmente resulta en problemas en

la obra por la construcción bajo planos desactualizados, reclamaciones, errores de niveles, etc.

Un caso expuesto por H. Posada (2020), y bajo el cual ejemplificar lo anterior, es en el que la compañía emitió a la obra de un proyecto particular una información errada, por el hecho de no haber recibido con anterioridad una solicitud de cambio por parte del cliente o del encargado de la coordinación, lo cual causó en obra un reproceso sobre la instalación de un ascensor, que costó alrededor de 10 millones de pesos, y llevó a una discordia porque ningún actor asumía la culpa, finalmente Doblamos fue el mayor señalado y quien asumió los gastos.

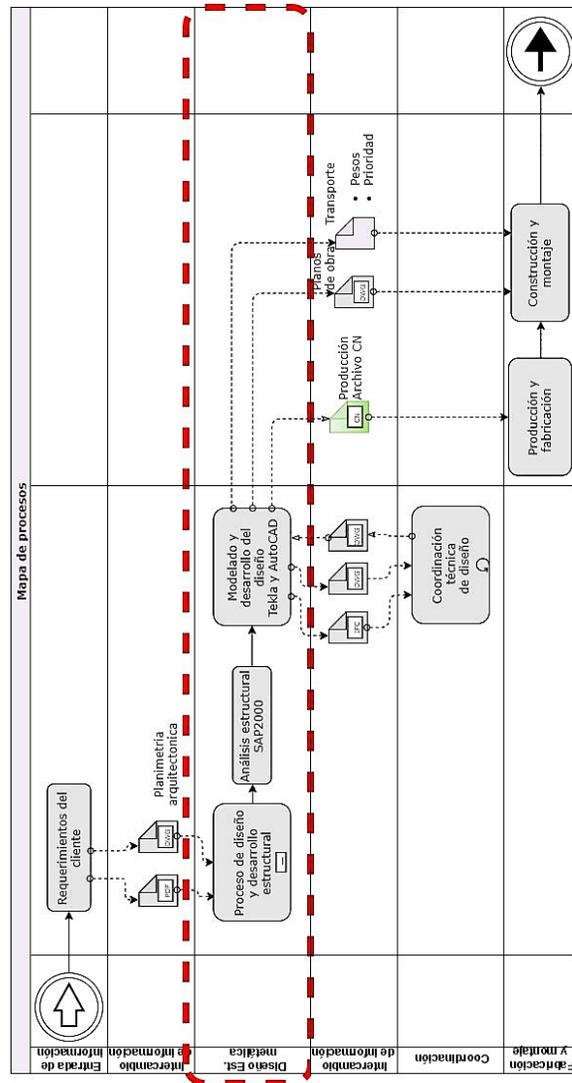
Casos como el anterior son típicos en una construcción y los errores generalmente se dan por todos los problemas de comunicación mencionados. En un proceso como en los que participa la empresa Doblamos actualmente, tendría un alto valor el poder enviar cada disciplina el modelo BIM y no planos en DWG pues se evitarían problemas como los mencionados, porque permiten un mayor entendimiento del proyecto y demás. Un mayor beneficiado de esto puede ser el interventor o quien haga las veces de integrador de diseños ya que se disminuirían los tiempos de revisión por la automatización que le pueden brindar algunas herramientas de análisis como Navisworks, Solibri o cualquier otra. Y este flujo de trabajo por supuesto requiere operar bajo un panorama abierto, es decir se necesita la adopción de OpenBIM como estándar de comunicación e interoperabilidad entre todos los actores participante, para así compartir modelos a través del formato IFC a la interventoría, y éste bajo el software determinado logre integrar todos los diseños contenidos en los modelos BIM para hacer las revisiones respectivas y las observaciones necesarias en relación al diseño conjunto del proyecto.

Conscientes de los problemas de comunicación y de las oportunidades que ofrece la interoperabilidad en BIM, Doblamos ha buscado migrar a sus clientes hacia plataformas de visualización 3D, Trimble Connect de la misma casa fabricante de Tekla, es la que vienen implementado actualmente y funciona de consulta del modelo para el cliente, allí el propietario puede hacer observaciones y colocar tareas. No obstante, esto solo lo usan en el 5% de los proyectos, muchos de los clientes se rehúsan a implementar este tipo de herramientas. Con quienes si lo usan han visto un beneficio particular, y es el entendimiento del proyecto a partir de un modelo 3D, no solo con el cliente sino también con el personal de la obra.

### **Procesos de comunicación e interoperabilidad**

A través del cliente, quien puede ser una persona natural o una empresa pública o privada, se dan dos tipos de requerimientos hacia la empresa Doblamos. Uno es el de diseño, fabricación y montaje de una estructura en particular y otra es únicamente la fabricación y puesta en sitio. Según H. Posada (2020), se podría pensar en un 30% de clientes que requieren los diseños y otro 70% de aquellos que requieren la fabricación y el montaje. Esto hace que el mayor porcentaje de las actividades en Doblamos estén enfocadas hacia la fabricación, sin embargo esto no deja de lado la necesidad de integrarse a los flujos de trabajo desde la fase inicial de un proyecto, pues ambos casos de solicitudes desencadenan en los procesos de fabricación (imagen 64), donde la precisión y claridad sobre la información recibida es fundamental para desarrollar un modelo coherente y sin errores trasladados del dibujo o de la mal interpretación de lo recibido.

Imagen 64: Mapa de procesos Doblamos



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen los procesos identificados en cada uno de los escenarios o solicitudes realizadas por parte del cliente:

**Solicitud 1: Fabricación y Montaje**

En este caso, el cliente llega a la empresa con los diseños del proyecto ya desarrollados, la arquitectura consolidada, una estructura definida y los demás diseños del proyecto coordinados. Aquí la solicitud por su parte es la de fabricación y montaje de la estructura metálica, la cual es desarrollada a partir de una información suministrada por el cliente. Esta consiste generalmente en planos definitivos del proyecto, los cuales son entregados a la compañía en formato DWG o información digital en PDF. Este requerimiento se salta el proceso de diseño, es decir, la empresa no participa en la etapa del diseño del proyecto, tal como se señala en el mapa de procesos anterior. Bajo esta solicitud, no se requiere interacción con ningún otro diseñador, teóricamente el proyecto funciona adecuadamente y es el cliente quien recibe y verifica la información emitida.

No obstante, es aquí donde el fabricante puede aportar un alto valor sobre el proyecto, pues es usual que, al recibir los diseños, se evidencien muchos errores que conllevan a sobrecostos dado el desconocimiento por parte del diseñador estructura sobre el cómo se fabrican las estructuras. La integración del calculista con el fabricante obliga a tener una visión más estandarizada del diseño, desarrollar elementos que sean más fáciles de construir, con perfiles más livianos, de conexiones más rápidas, pues la inexperiencia por parte del diseñador lleva a realizar soluciones pocas prácticas en la construcción, lo cual genera mayores sobrecostos.

En el proceso de fabricación, las oportunidades para la industria estarían en la entrega de un modelo BIM desde el calculista al fabricante que solo requiera enlazarlo con las maquinas CNC. Ya que el hecho de redibujar o más bien, modelar a partir de planos 2D como sucede en la actualidad significa encarecer los proyectos entre un 2% al 3% (H. Posada, 2020).

### **Solicitud 2: Diseño y desarrollo de estructuras metálicas**

Bajo este escenario, el cliente requiere del diseño y desarrollo de la estructura metálica de un determinado proyecto de construcción por parte de la empresa. Allí la información suministrada son los planos arquitectónicos que se encuentran en una fase inicial o un proyecto básico. Un 98% de la información suministrada son planos en formato DWG, incluso en PDF.

Una vez recibida la información y de acuerdo con la estructura planteada por el arquitecto se inicia el desarrollo y el cálculo estructural de la edificación en

cumplimiento a las normativas locales del proyecto en particular, la norma AWS (código de soldadura estructural), la norma Colombiana Sismo Resistente del 2010 (NSR10) y lo especificado por el cliente.

Al iniciar, el análisis estructural es llevado a cabo en el software SAP2000, en este proceso se importa la información DWG de los planos arquitectónicos bajo los cuales se inicia el modelado de análisis que ayuda a determinar el comportamiento de cargas, dimensiones estructurales y otras evaluaciones necesarias. Una vez definida la estructura desde su análisis, se inicia el desarrollo de modelado en la plataforma Tekla. La comunicación entre estas dos herramientas se ha buscado realizar a partir del archivo IFC, sin embargo, la empresa aun desconfía en los datos importados durante este proceso, pues se pierde información geométrica que limita el desarrollo desde Tekla, por lo cual se da un reproceso absoluto ya que prefieren exportar desde SAP a AutoCAD e importar ese archivo CAD a Tekla e iniciar nuevamente el modelado detallado de las estructuras.

Sin embargo, en ningún momento se deja de lado los planos arquitectónicos, pues bajo esta información es la que coordinan la generalidad del diseño. Estos también son importados a Tekla para usar como plantilla de modelado, regularmente la información se vincula en formato DWG o en ocasiones en PDF, los cuales son escalados de acuerdo con una referencia en particular. Un proceso de mucho riesgo, pues la inexactitud puede acarrear grandes consecuencias en términos económicos.

La interacción aquí con otras disciplinas es fundamental, aunque, como se mencionó anteriormente en pocas ocasiones la empresa ha interactuado con otras disciplinas, eventualmente lo hace con el arquitecto, pero en su generalidad es a través del cliente, y el cliente con lo demás técnicos.

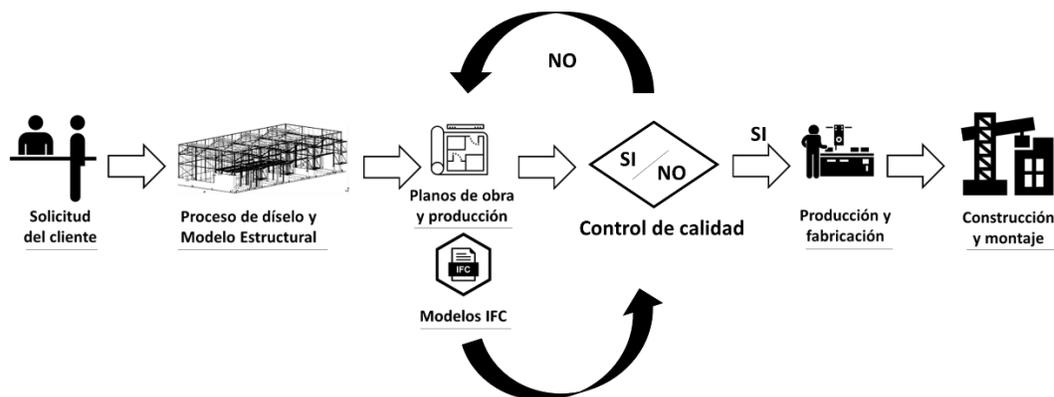
En este proceso la información emitida por parte de Doblamos son planos estructurales del proyecto en formato DWG extraídos del modelo y acompañados de un modelo en formato IFC exportado. Aunque no todos los clientes están familiarizados con la metodología BIM y uso de nuevas herramientas, el modelo IFC es acompañado de un instructivo que da lineamientos de cómo abrir y visualizar el archivo IFC en la plataforma BIMsight, una plataforma gratuita propia de la misma casa fabricante de Tekla, por lo cual la lectura de los elementos es muy limpia,

permitiendo un mayor entendimiento del proyecto por parte del cliente. Esto hace parte de las estrategias de la compañía para mejorar sus procesos comunicativos.

Ya consolidados y definido los diseños estructurales, además aprobados por parte del cliente, se inicia con los planos de fabricación y de taller, los cuales son extraídos del modelo desarrollado en Tekla y emitidos a la maquina CNC, por ejemplo, las láminas salen para pantógrafos que hace las perforaciones y biselados, los perfiles se dirigen a otra maquinaria que hacen los cortes y las perforaciones.

Del mismo modelo se extrae la lista de materiales y de despachos para la obra, marcando por código de barras cada uno de los elementos, los cuales fueron internamente nombrados con una etiqueta única desde su planeación, lo que permite tener una trazabilidad y hacerle un seguimiento desde su fabricación.

*Imagen 65: Ciclo de vida del desarrollo de la estructura metálica*



*Fuente: Elaboración propia*

Si bien las dos solicitudes requieren de diferentes procesos iniciales, ambas convergen en el proceso de fabricación y desenlazan en la construcción y montaje de las estructuras, tal como lo muestra el ciclo de vida del desarrollo de las estructuras metálicas (imagen 65). No obstante, la información en ambos requerimientos necesita de un manejo preciso, especialmente en la etapa inicial de diseño y modelado de estructuras ya que un error en esta etapa desencadena muchos en fases posteriores.

El desarrollo de las estructuras metálicas requiere de una alta precisión puesto que las tolerancias son concebidas al milímetro, por tanto, entendiendo que son desarrolladas a partir de una información ya existente como los diseños

arquitectónicos, los vínculos bajo los cuales se modelan las estructuras deben ser lo suficientemente precisos para no dar cabida a errores. Sin embargo, precisamente en lo mencionado existen dificultades importantes porque el arquitecto no suele dibujar o modelar con el rigor que se requiere.

A diferencia de las estructuras en concreto, una vez las estructuras metálicas son puestas en sitio no tiene mayor capacidad de maniobra y cualquier inconsistencia entre lo diseñado y lo real requiere de la producción nuevamente de la pieza si es el caso. Un elemento de pase no previsto podría significar también la construcción de un nuevo elemento ya que el corte debe ser bajo una maquinaria especializada que en obra no va a estar disponible, por tanto, el grado de comunicación entre los implicados en el desarrollo del diseño debe ser constante y fluida, y que no dé espacio a este tipo de equivocaciones.

### **5.5.6 Proyecto ejemplificante**

El caso expuesto a continuación, representa al primer proyecto BIM en el cual participa Doblamos, por ello se considera pertinente traerlo a discusión, ya que algunos procesos comunicativos y de interoperabilidad realizados entre la compañía analizada y la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU), quien actuó en este caso como su cliente, se salen del marco de la metodología BIM, lo cual desvirtúa sus objetivos y beneficios, además de poner en riesgo la adopción generalizada de BIM en el país por la incredulidad que se puede generar. Pues siendo Ciudadela Universitaria de Occidente un proyecto desarrollado con recursos públicos, esta “bajo la mira” de muchos particulares, además, de diferentes estudios investigativos que podrán desglosarse a partir de él. Su magnitud e importancia en la ciudad de Medellín lo lleva a ser un alto referente para temas como el de la presente investigación, todos con el ánimo de identificar la verdadera promesa de BIM y de los beneficios que puede otorgarle al campo de la construcción, así como de poder aportar a partir de las dificultades evidenciadas.

Lo anterior resulta ser cierto cuando se mira hacia atrás y se evidencia una tesis ya desarrollada por Barreto (2020), que toma como caso analítico al mencionado proyecto, aunque bajo un ámbito ajeno a la presente investigación, pues este busca determinar los beneficios de la metodología BIM para el interventor de proyectos desde la fase de diseño.

### **Ciudadela Universitaria de Occidente**

Ciudadela Universitaria de Occidente, corresponde a un nuevo equipamiento educativo encargado a la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU) por parte del municipio de la ciudad de Medellín (Antioquia). Su diseño particular, al que puede considerarse un ejemplar de la arquitectura contemporánea por su singular geometría y diversidad de materialidades que lo componen, responde a nuevos modelos pedagógicos, que, dentro de sus diferentes programas ofrece una versatilidad de áreas para algunas instituciones universitarias de la misma región, como el Colegio Mayor de Antioquia, Pascual Bravo y el Instituto Técnico Metropolitano (ITM), con una vocación de apuntalar las artes y ser un laboratorio de ideas sociales, además de un nuevo espacio público para el encuentro entre la ciudad y la academia.

Su geometría y complejidad constructiva, provoco retos en el diseño y en la construcción, tanto así, que su desarrollo requirió de la implementación de herramientas avanzadas de modelado paramétrico. Lo cual llevo a señalar a este proyecto como la primera edificación publica de gran formato construida en el país bajo la metodología BIM (Lozano, 2019). Considerado, además, el proyecto de acero más grande de la ciudad (Acosta, 2019), con 1.800 toneladas de acero estructural construido aproximadamente, repartidos en 13 edificios principales.

Su construcción se realizó a través del Consorcio CCU 2018-SP inmobiliaria-AIA Arquitectos, la fabricación y el montaje de la estructura metálica estuvo a cargo de la empresa Doblamos S.A. y la EDU participo como el especificador de la arquitectura y coordinador BIM.

En definitiva, Ciudadela Universitaria de Occidente es la gran apuesta de infraestructura para la educación superior, en el que la administración municipal invirtió cerca de ciento veintiséis mil millones de pesos (\$126.000.000.000) (Lozano, 2019). Se ubica entre la comuna 12 (La América) y la 13 (San Javier) de la ciudad de Medellín, implantado sobre el terreno donde anteriormente funcionaba la cárcel de mujeres El buen pastor.

Hasta el 2010 funcionó en aquel terreno el centro penitenciario. Ocho años después (2018) en los 55.000 metros cuadrados de ese espacio, se distribuyó el nuevo edificio de la institución de educación superior, que ocupa 23.000 metros cuadrados construidos, y el resto fue destinados a zonas verdes y escenarios deportivos.

*Imagen 66: Ciudadela Universitaria de Occidente*



*Fuente: (Tamayo, 2019)*

La imagen 66 refleja a grosso modo la generalidad del proyecto. La construcción se compone de 14 edificios diferentes, de los cuales, 4 corresponden a edificios de circulación, 1 edificio de parqueaderos y 9 edificios más destinados a espacios que responden al programa educativo al que busca ofrecer el proyecto.

Particularmente sobre el trabajo realizado por Doblamos, la imagen 67 refleja la estructura metálica fabricada y montada por la empresa, quien junto al equipo de construcción del proyecto logran plasmar en obra una estructura compleja por su geometría y magnitud, la cual difícilmente se hubiese podido resolver sin el uso de las plataformas que hacen parte del entorno BIM, Tekla en este caso, y de la automatización de mucho de sus procesos internos.

*Imagen 67: Estructuras metálicas Doblamos*



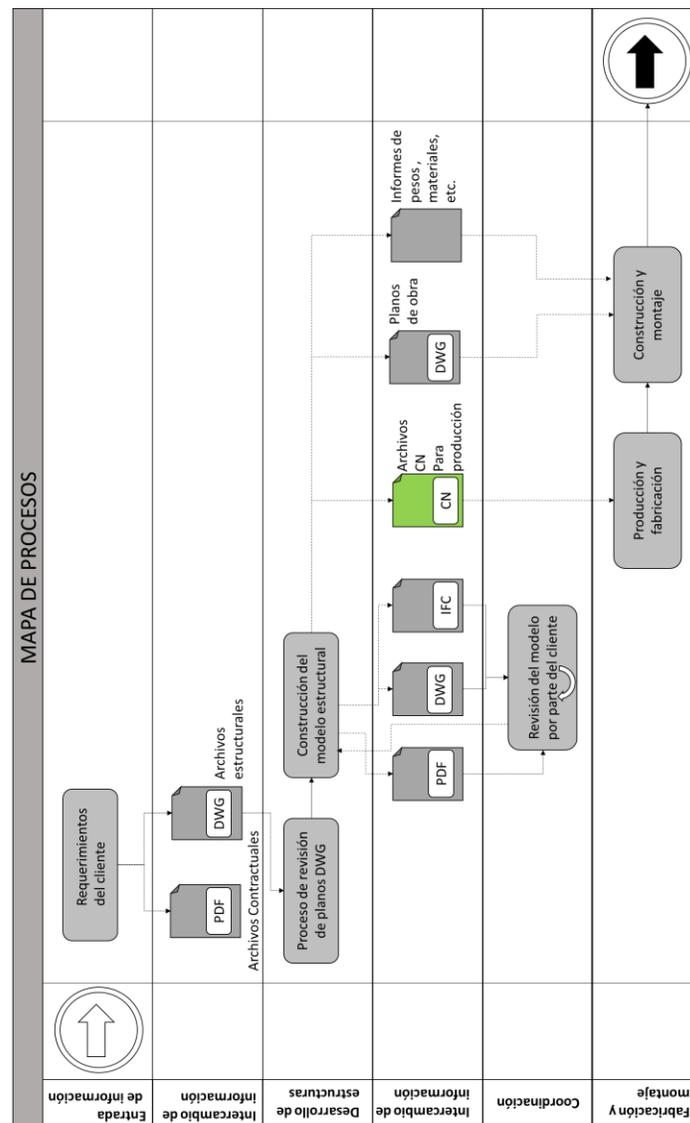
*Fuente: Empresa caso de estudio*

### **Proceso de desarrollo**

Como se mencionó inicialmente, Ciudadela Universitaria de Occidente se convierte para Doblamos en el primer proyecto al que requiere involucrarse en BIM como metodología de trabajo, y aunque esto suene muy convincente, los procesos realizados a partir del desarrollo de lo contratado hicieron que el concepto BIM se pierda, pues no existió una plena colaboración en los procesos realizados entre las partes, lo cual es propio de la metodología.

Doblamos, aunque siendo el fabricante de uno de los componentes más importantes del proyecto, la estructura, en ningún caso fue invitado a participar de un entorno común de trabajo en que se coordinaran aspectos relevantes de fabricación y demás. La EDU, quien actuó como el cliente, hacía las partes de coordinador e integrador de diseños. De ese modo fue quien recibió por parte de Doblamos, no solo los planos para ejecución y montaje, sino también un modelo paramétrico en formato OpenBIM IFC, con el cual la interventoría y el constructor en obra pudieran llevar un control en la ejecución del proyecto, compras de materiales, programaciones y demás.

Imagen 68: Mapa de procesos, Doblamos - EDU



Fuente: Elaboración propia

La imagen 68 refleja el mapa de proceso comunicativo entre la EDU y Doblamos. Lo que allí se evidencia, es que el inicio, como en todos los proyectos, nace a partir del requerimiento del cliente, siendo lo solicitado para este caso, la fabricación y montaje de las estructuras de acero, las cuales se encontraban ya diseñadas por otro actor, al que llamaremos “empresa A”, que en efecto fue la encargada del diseño estructural del proyecto Ciudadela.

En consecuencia, la empresa A, fue aquella que participó en el proceso de coordinación del proyecto, realizado a través de comités técnicos de manera semanal, donde se revisaba el estado de los diseños y posibles cambios que se debía hacer según la evolución del proyecto. Mientras la EDU realizaba todos sus procesos de modelado y diseño bajo el uso de herramientas BIM como Revit y Navisworks, la empresa encargada de los diseños estructurales, particularmente, utilizaba el software AutoCAD para el desarrollo de sus productos, aun cuando el uso de BIM era un requerimiento contractual para todos los involucrados en el proyecto. Por tanto, planos bidimensionales fueron parte del insumo de información para la coordinación técnica del proyecto. Así la revisión y control de la parte técnica de ciertos aspectos, fue realizado mediante el uso de planos 2D y el modelo BIM desarrollado por la EDU (Barreto, 2020).

A lo anterior se hace mención porque fue precisamente esa información CAD producida por la empresa A, la que fue entregada por parte del cliente a la empresa Doblamos, planos digitales bidimensionales que fueron la base e insumo de información bajo la cual se realizó el modelado estructural para la fabricación de los elementos metálicos.

Sin el ánimo de prejuicios, la compañía siendo prevenida, dentro de su contrato estipulo un monto adicional al modelado, para la revisión de los planos de ingeniería, lo que hace referencia a una evaluación minuciosa de la información recibida, que garantice la coherencia de los diseños con los cálculos estructurales, y bajo esa fiabilidad de la información poder realizar el modelo estructural en el software Tekla para la fabricación de los elementos y puesta en obra, tal como lo muestra el anterior mapa de procesos.

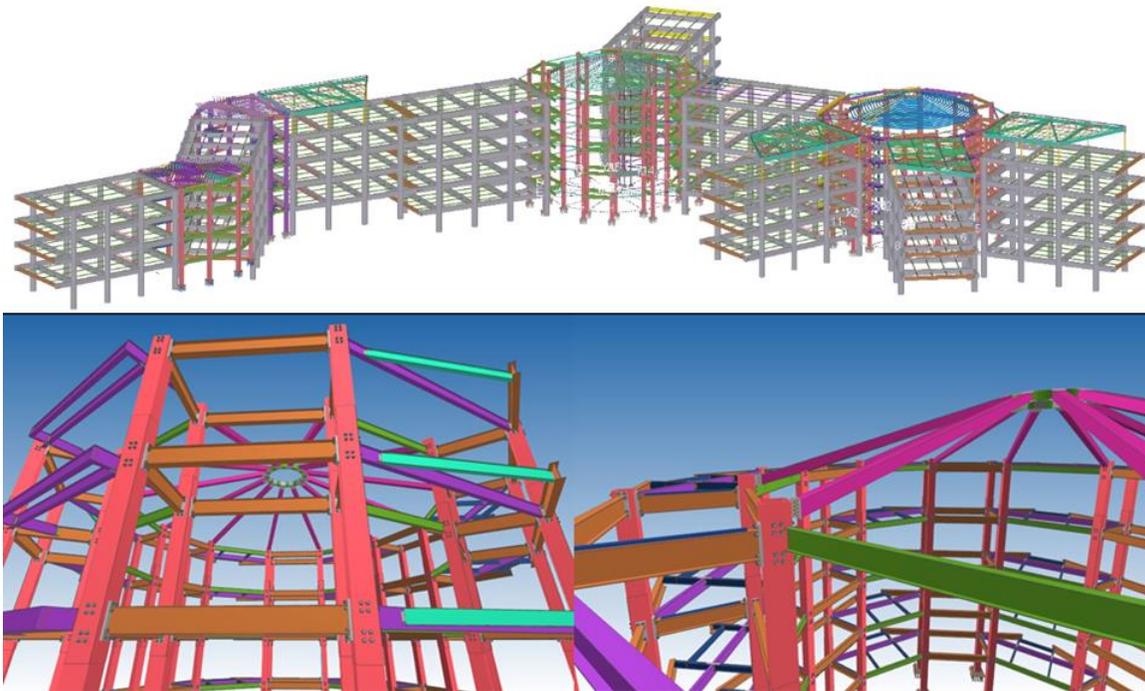
No obstante, antes de enviar los elementos a fabricación, se realizaron, como en los procesos de cualquier otro proyecto, comunicaciones con el cliente en aras de coordinar todos los aspectos y detalles de los componentes metálicos, en concordancia con la arquitectura, y otros diseños. Bajo esa validación y confirmación, en la que se garantiza que lo emitido por parte de Doblamos concordaba plenamente con lo diseñado en el proyecto, se inicia el proceso de fabricación. Esto permitió tener una total certeza sobre lo emitido para construcción y tener menores inconvenientes en el proceso de montaje.

En el proceso anterior, la comunicación se dio por medio de planos DWG exportados del modelo de Tekla, donde la compañía fabricante emitía a través de correo electrónico la información para revisión, y así el receptor (EDU) devolvía el

correo con observaciones, en caso de haberlas, y de no existir, allí terminaba el proceso de coordinación de los elementos particulares. También se hacían reuniones presenciales cuando se requería, para evaluar cualquier aspecto o hacer una solicitud puntual.

La imagen 69, muestra la generalidad del modelo estructural de Ciudadela Desarrollado por parte de la empresa Caso de estudio.

*Imagen 69: Modelo estructural CUO*



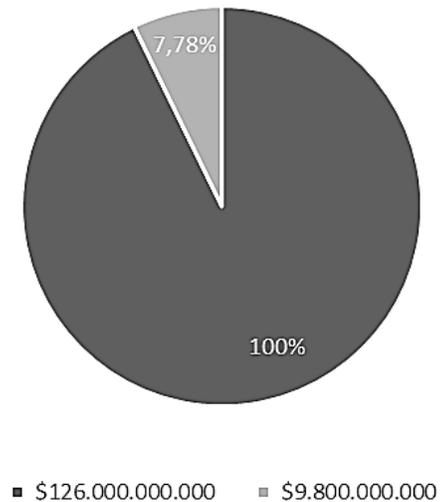
*Fuente: Empresa caso de estudio*

### **Impacto sobre los costos**

Del proceso anterior, es importante conocer el valor que tuvo la fabricación y montaje de las estructuras metálicas, así como saber el monto que cobro la empresa Doblamos para la revisión de ingeniería y modelado de la estructura metálica, para entender de esa forma el impacto de los costos en el proyecto.

El objeto bajo el cual fue contratado Doblamos, la fabricación y el montaje de las 1.800 toneladas de estructura metálica contratadas con sus diferentes actividades de revisión y modelado, tuvo un costo total de nueve mil ochocientos millones de pesos colombianos (\$ 9.800.000.000), lo que representó el 7,8% del valor total del proyecto (\$126.000.000.000) (imagen 70). Un costo considerable que refleja la importancia de este ítem sobre el proyecto si se consideran otros aspectos que también pueden representar altos costo, como obras de urbanismo, acabados y demás

Imagen 70: Relación costo total de obra vs costo de estructuras



Fuente: elaboración propia

Segregando el valor total de lo contratado, se encuentra que el 0.4% fue destinado a la revisión de ingeniería, que corresponde a treinta y nueve millones doscientos mil pesos (\$ 39.200.000), y otro 0.4%, los mismo \$ 39.200.000 fueron contratados para el desarrollo del modelo.

Siendo así, el 0.8% sobre el valor contratado por Doblamos fueron destinados a actividades diferentes al objetivo del contrato (fabricación y montaje) es decir setenta y ocho millones cuatrocientos mil pesos (\$ 78.400.000) del valor total correspondieron al costo de la revisión y modelado del proyecto, mientras que \$ 9.721.600.000 a la fabricación y montaje.

La siguiente gráfica (imagen 71), deja ver claramente la relación de los costos. Si bien, los valores que simbolizan los costos de otras actividades diferentes a la de fabricación pueden representar un porcentaje muy pequeño sobre el monto contratado por la empresa y el del proyecto en general, es de real importancia prestarle atención, considerando, además, que el proyecto corresponde a una obra pública, donde está en juego los recursos del estado, pues los montos adicionales asumidos por la entidad pública impedirían cubrir otras necesidades básicas y prioritarias, como la construcción de nuevas edificaciones, así como en la educación y formación en campos que aporten a las problemáticas actuales del país, como bien podrían ser en temas relacionados a los procesos colaborativos en

la industria de la construcción, lo cual permitiría mejorar la eficiencia y productividad en el desarrollo de proyectos arquitectónicos bajo el uso de la metodología BIM.

Imagen 71: Relación de costos del objeto del contrato de Doblamos



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recibidos por el caso de estudio

Como el proyecto mencionado deben existir otros más, en el que los procesos inadecuados encarecen los costos, pues en este caso particular, el monto por lo contratado pudo haber tenido un menor valor si el propietario no hubiese tenido que incurrir en gastos adicionales por la falta de un modelo desarrollado por parte del diseñador de las estructuras, listo para fabricación, lo que llevó a la transferencia y desarrollar del modelo a partir de información 2D. Y es allí precisamente donde están las oportunidades para la industria, en que el diseñador estructural logre desarrollar un modelo coordinado a plenitud con la arquitectura y otros diseños, y pueda transferirlo al fabricante, en un estado tal, que este pueda tomarlo, enriquecerlo desde su conocimiento y necesidades, y enlazarlo a sus máquinas en el taller de producción.

Lo anterior, además de los costos por las tareas adicionales, disminuiría los tiempos de fabricación y de respuesta frente al cliente, puesto que un taller de ingeniería no tendría que tomarse el tiempo de analizarlo e interpretarlo. Pues un modelo 3D, como bien se ha dicho, mejora el entendimiento y disminuye los niveles de incertidumbre que comúnmente se da en el manejo de información 2D.

### **Dificultades en el proceso**

Aun siendo Ciudadela Universitaria de Occidente un proyecto ejemplificante alrededor del uso del BIM en la etapa de diseño y construcción, se evidencia una brecha en los procesos actuales de un proyecto que hace uso de la metodología BIM; la transferencia de planos 2D para la coordinación o construcción de un modelo 3D no es una práctica propia de BIM, y de aquí se pueden desprender muchas dificultades que finalmente se ven reflejadas en los costos del proyecto, como errores de diseños, de fabricación, construcción, o de un tiempo adicional para la entrega por procesos adicionales que se requieren. Lo ideal hubiese sido que todos los actores desarrollaran los modelos de información según su disciplina, e independientemente de las herramientas que usen logren comunicarse bajo modelos BIM, aunque esto requiera de procesos comunicativos muy definidos. Pues es esto precisamente uno del mayor aporte que OpenBIM puede otorgar no solo a la empresa Doblamos si no a la industria en general.

La falta de un plan de ejecución BIM que definiera los procesos de comunicación, estructura de los modelos y demás, provocaron inconvenientes en obra con el modelo emitido por Doblamos. Pues la falta de este estándar dejó un panorama abierto de posibilidades en cuanto a la construcción del modelo estructural, nombre de los archivos, georreferenciación de cada uno de los módulos, nombre de niveles y otras consideraciones básicas que se requieren al pretender trabajar o hacer uso de un modelo de la otra especialidad con quien se colabora. La falta de licencias de Tekla por parte de la obra no les permitía trabajar bajo el modelo en formato nativo, es decir en el mismo software de creación. Por ello Doblamos transfería los modelos basados en archivos IFC, pero el desconocimiento que se tenía en este formato interoperable condujo a problemas en la exportación e importación de la información, lo que llevó a pérdidas geométricas y de datos, como pesos de las estructuras y demás.

Debido a lo anterior, el constructor no tuvo la plena certeza de la información evidente en el modelo IFC estructural, por cual, se prefería remitirse a informes enviados por Doblamos de forma impresa o en formatos como Excel y hacer los procesos manuales como han estado acostumbrados.

Finalmente, las dificultades los llevó a recurrir al uso del plugin "Import From TeklaStructure" instalado en el software Revit, herramienta esta con la que la obra contaba, para importar así el modelo IFC, lo que de cierto modo disminuyó los problemas.

### **Comentarios generales**

En relación al proceso y la forma como se dieron los flujos de trabajo, H. Posada (2020), director del departamento de ingeniería, comenta particularmente sobre este proyecto, que si la compañía hubiese ingresado al proyecto en una fase más temprana (etapa de diseño), el costo de la estructura habría sido menor, pues pudieron haber planteado sistemas constructivos muchos más ágiles, rápidos, incluso más livianos, lo que representaría una dimisión no solo en el valor de la estructura sino también en el de las cimentaciones por la disminución de las cargas, lo cual representaría ahorros importantes en el proyecto. Lo anterior, demuestra la necesidad de integrar a los actores, entre esos al fabricante, en una etapa más temprana del proyecto en la que pueda aportar sus conocimientos para prever cualquier tipo de eventualidad desde la producción, en términos de fabricación, eficiencia constructiva, ensambles elementos y demás.

Siendo conscientes de que los incrementos en las tareas y gastos adicionales del proyecto que se dieron en este caso por las dificultades de la comunicación bajo información 2D entre el cliente y Doblamos, porque se requiere una alta inversión de tiempo para revisar y construir un modelo 3D para fabricación, además de los errores que se pueden cometer. Sobre el ingeniero estructural se evidencia una gran oportunidad para la industria, el hecho de él poder desarrollar un modelo BIM que se pueda enlazar con el proceso de fabricación a través de la comunicación bajo un formato interoperable cuando se requiera. Lo que, en efecto, puede representar ahorros significativos en un proyecto en términos de productividad.

Del proyecto particular, se evidencia que hay un reproceso absoluto por no contar un modelo 3D de entrada.

De los procesos vividos en este proyecto, él que solo ejemplifica la generalidad del medio y de las dificultades de la interoperabilidad en BIM, se ratifica que OpenBIM es el camino indicado para solventar estas dificultades tecnológicas, además, abre el camino hacia la creación de un proyecto integrado y sin exclusiones, pues el uso de formatos abiertos como IFC dentro de un proyecto busca máxima los beneficios de BIM y ofrece otro tipo de garantías, como es la integración de actores como Doblamos desde una fase temprana del proyecto; un momento en cual puede hacer grandes aportes a merced del proyecto mismo.

### 5.5.7 Propuesta para el uso de OpenBIM

Como es sabido, Doblamos se enfrenta a nuevos retos, especialmente en la comunicación a través de modelos de información dada la acelerada evolución de BIM en el campo de la construcción y las nuevas dinámicas colaborativas que se viene dado en la industria.

La infraestructura y los buenos procesos que existen internamente en la compañía deben ser compartidos para maximizar los beneficios de BIM en los proyectos que desarrollan, además, la empresa misma requiere interoperar de manera óptima con los entornos laborales con quien colaboran. En ese sentido los estándares OpenBIM mejorarían enormemente la gestión de la información del proyecto, la aplicabilidad normativa y las demás condiciones particulares de las edificaciones diseñadas, esto a través creación de entregas integradas del proyecto, el uso de formatos abiertos establecidos como un lenguaje común de intercambio de información, etc.

En definitiva, Open BIM para una empresa como Doblamos puede traer lo siguientes beneficios (tabla 7):

*Tabla 7: Los beneficios de OpenBIM para mejorar la interoperabilidad entre el arquitecto y el estructural*

<b>Beneficios de Open BIM en el marco de la ingeniería estructural y la arquitectura</b>	
<b>Beneficio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Aumentar la colaboración entre los profesionales</b>	El uso de un lenguaje común promueve el trabajo multidisciplinar y transparente
<b>Generar una entrega integrada del proyecto</b>	La integración de los actores y la posibilidad de comunicar la información producida en sus herramientas tecnológicas permite un desarrollo integral del proyecto
<b>Comunicación tecnológica a través de un lenguaje común</b>	La transferencia de modelos paramétricos a través del formato IFC ( <i>Industry Foundation Classes</i> ) y la comunicación bajo otros formatos abiertos benefician la comunicación y el entendimiento del proyecto
<b>Disminución de errores en el diseño, fabricación y construcción</b>	Desarrollar los diseños teniendo como referencia un modelo y no planos en 2D,

	disminuye el nivel de incertidumbre y así mismo la cantidad de errores
<b>Evita el retrabajo</b>	La transferencia de un modelo paramétrico a partir del cual se puedan desarrollar las actividades por parte del estructural reduce los tiempos de inactividad, la necesidad de reconstruir la información y los esfuerzos organizacionales
<b>Permite la revisión de inconsistencias del diseño de manera automatizada</b>	El uso de modelos bajo formatos IFC , a través de otras aplicaciones como BIMCollab zoom o Solibri permiten identificar las inconsistencias en los diseño a partir de la detección de conflictos

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.5.7.1 Uso del formato IFC

Consiguiente a lo anterior, este apartado a través de un ejercicio práctico se busca hacer una demostración del uso del formato abierto IFC, para esto se determinó un proyecto específico diseñado, fabricado y montado por la empresa Doblamos S.A, el que además pudiese contar con los permisos necesarios para llevar a cabo la actividad ya que se requiere de información planimétrica y de manipulación de archivos que necesitan de permisos por parte del propietario y de la empresa. De lo anterior el proyecto elegido para este caso fue un conjunto de bodegas que hace parte del complejo logístico y de servicios La Tekla.

#### **Descripción del proyecto La Teka**

La Teka, se localiza en el municipio de Apartado Antioquia; ha sido concebido como un proyecto para dotar a la región de Urabá de un centro logístico, industrial y empresarial moderno y desarrollado. Es el primer proyecto pensado como centro logístico y de servicios para Urabá y con la proyección para los futuros puertos que se construirán en la región, su localización es privilegiada pues está en la milla de oro entrando a Apartado sobre la doble calzada.

El conjunto de edificaciones 27, 28, 29 y 30 señalado en la imagen 72, corresponden al conjunto de bodegas determinadas para el desarrollo del ejercicio experimental.

Imagen 72: Conjunto de bodegas del ejercicio practico

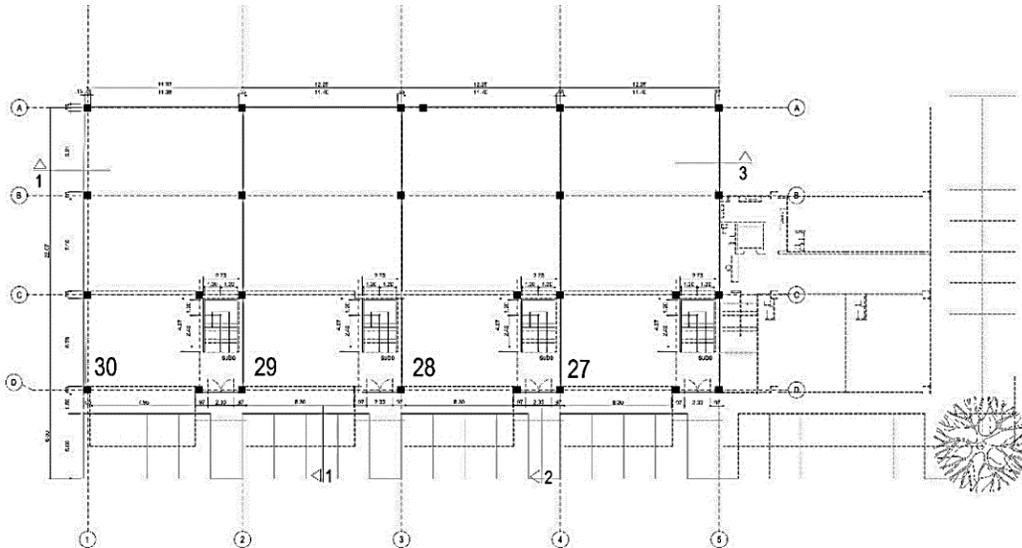


Fuente: <http://latekabodegas.com/>

Las bodegas antes mencionadas espacialmente constan de una planta libre para almacenamiento y función de la edificación, un piso intermedio con una zona de baños, y un piso de oficinas administrativas con vistas a la planta libre de la bodega, una visual que permite tener control sobre el funcionamiento interno. En total, el área total construida de los módulos definidos para este estudio es de 1.325,71 m<sup>2</sup>.

La planta del primer piso se refleja en la imagen 73, la cual evidencia a grosso modo la conformación espacial del proyecto mencionado

Imagen 73: Planta primer piso



Fuente: Empresa caso de estudio

Si bien, en el tipo de proyecto seleccionado se evidencia una predominancia de la estructura metálica sobre los componentes arquitectónicos, no por eso la comunicación e interoperabilidad entre el arquitecto y el ingeniero estructural es menos importante, pues, como es evidente en las fotografías de la imagen 74, existen aspectos espaciales y de apariencia estética que debe ser desarrollado por el arquitecto. Este como cualquier otro proyecto, inicia a partir de un planteamiento arquitectónico que responde a las intenciones y necesidades del cliente, en cuanto áreas vendibles, aprovechamientos del terreno, implantación, funcionamiento interno, eficiencia lumínica, aplicaciones normativas y demás. Una vez definido lo anterior inicia el desarrollo de los componentes estructurales. Así que, a partir de este proyecto ejemplificante, se busca simular un proceso de interoperabilidad durante la etapa de diseño de edificación, en este caso entre los softwares Revit y Tekla. El primero de mayor uso a nivel local, especialmente por los arquitectos y el segundo especializado en el desarrollo de las estructuras, el cual apoya los procesos internos de Doblamos.

*Imagen 74: Construcción del proyecto la Teka*

*Fuente: Empresa caso de estudio*

Como en todos los procesos actuales de desarrollo, las estructuras metálicas al interior de Doblamos, se inician a partir de una información bidimensional para el análisis y construcción del modelo de información para fabricación, los beneficios y oportunidades que se pueden a portar desde el marco OpenBIM es el poder transformar los procesos externos, en el que la información recibida no sean planos DWG si no modelos BIM por parte del arquitecto, que como en este caso puede ser un modelo en Revit.

Lo anterior es una situación que se avecina para la empresa caso de estudio, pues las tendencias actuales y el creciente uso de la metodología BIM, en especial por los arquitectos que son con los que mayor tiene interacción, tiende a que los procesos de comunicación cambien, por ello la importancia en reconocer las condiciones mínimas que debe contener un modelo arquitectónico para el eficiente uso de sus procesos, el cual les sea un insumo de información que les disminuya los tiempos de trabajo, y no se les convierta en un problema.

### **Método**

El proyecto fue desarrollado por una oficina de diseño arquitectónico que en sus prácticas laborales aun usa el software AutoCAD como herramienta de dibujo y

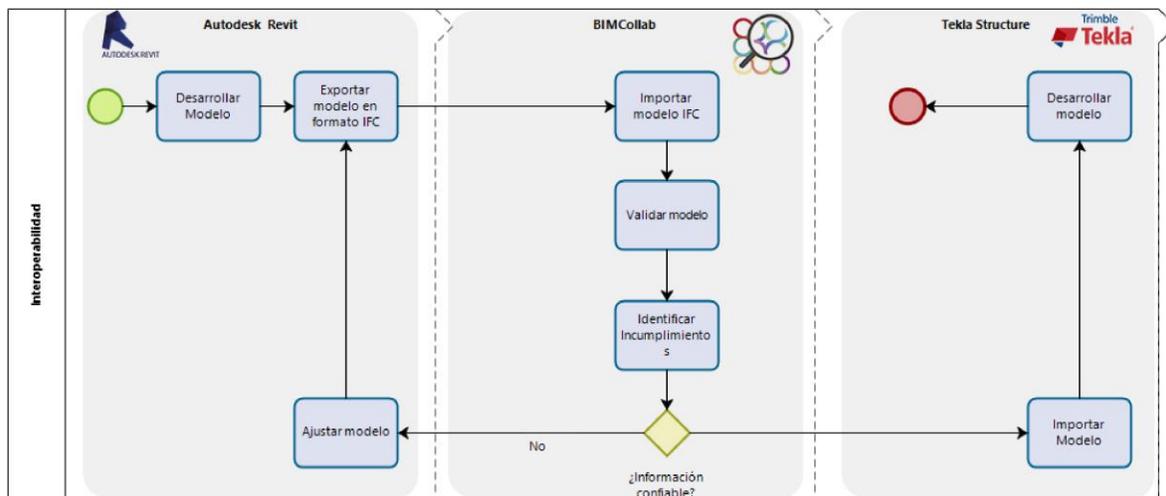
producción planimétrica de sus proyectos, por lo tanto, la información que esta disciplina suministra a la empresa Doblamos corresponde a planos digitales 2D en formato DWG. Información bidimensional que fue usada como referencia por la empresa caso de estudio para el desarrollo de los diseños estructurales y el modelado de los elementos metálicos desarrollados bajo el uso del software Tekla Structure.

El modelo arquitectónico se desarrolló en la plataforma Revit, y la construcción de este fue basado en la información arquitectónica recibida en DWG, por lo tanto, la geométrica (muros, losas, columnas, vigas, puertas, ventanas, cubiertas, etc.) y los metadatos (materiales, dimensiones, nomenclaturas, volumen, área, etc.) alcanzan el nivel de detalle que la información planimétrica permite.

Una vez el modelo arquitectónico fue desarrollado se realizó un proceso de exportación en IFC 2x3 bajo la definición de vista “Coordinación View”, la que se definió anteriormente como la más estable en la actualidad. En el proceso de transferencia se validaron los modelos en la plataforma BIMCollab Zoom con el ánimo de hacer un control de calidad antes de importar el modelo en la herramienta a la que se dirige.

El siguiente mapa de procesos (imagen 75), refleja la metodología descrita anteriormente.

Imagen 75: Mapa de procesos metodológico



Fuente: Elaboración propia

### **Construcción del modelo arquitectónico**

Los planos arquitectónicos bajo los cuales se realizó el modelo en el software Revit, eran demasiados escuetos, carecían de mucha información para asignar los metadatos necesarios a los elementos que componían el modelo BIM, sin embargo, bajo alguna información fotográfica de la obra, otorgada por la empresa caso de estudio se logra determinar cada uno de los materiales que componían el proyecto. Otros aspectos como límites de bordes de losas, espesores de los elementos, ubicación de puertas, dinteles, ventanas, cerramientos y demás, si se realizaron en base a la información de los planos arquitectónicos.

Si bien las informaciones arquitectónicas contenían algunas platinas, diagonales y demás representaciones estructurales, estas no fueron modeladas ya que no hacen parte de los alcances de un modelo arquitectónico.

Esas dificultades de la información planimétrica requirieron del apoyo de otro tipo de información suministrada como videos, planos estructurales, incluso reuniones con la empresa caso de estudio únicamente con el fin de aclarar dudas respecto a lo mencionado.

*Imagen 76: Modelo Arquitectónico - Revit*



*Fuente: Elaboración propia*

### Exportación del modelo arquitectónico a IFC

Antes de exportar el modelo en formato IFC, fue necesario acordar con la empresa caso de estudio la información necesaria y pertinente para coordinar los aspectos relevantes del diseño arquitectónico de acuerdo con la etapa y las necesidades del proyecto.

Si bien, es posible exportar todos los objetos paramétricos que componen el modelo, tales como: muros, puertas, ventanas, techos, cielos, mueble, etc., podría ir incluida en el modelo exportado información relevante que pueden provocar confusiones, saturación de información, es decir datos que a la otra disciplina no le es necesaria.

Por ello, para este caso experimental, se acordó con la empresa de estructuras metálicas los requisitos de intercambio del modelo arquitectónico. Lo definido inicialmente fueron las coordenadas, ejes, niveles, bordes de losa, y la estructura definida en los planos arquitectónicos, tal como lo muestra la tabla 8.

Tabla 8: Requisitos de intercambio de información del modelo arquitectónico

Diseño preliminar del sistema estructural	
Etapas del proyecto	Proyecto Básico
Disciplinas de intercambio	Arquitectura-Estructura
Descripción	1. El propósito es evaluar la comunicación mediante un proceso interoperable
	2. Definición de coordenadas espaciales del modelo arquitectónico, Ejes, Niveles, Suelos que determinen el borde de losa, Estructura planteada por arquitectura.
	3. Revit, Tekla, BIMCollaZoom
	4. El intercambio es de ida y Vuelta

Fuente: Elaboración propia

Teniendo presente que la investigación busca establecer criterios generales de la transferencia de la información en una fase inicial de diseño, los datos de interés en esta etapa es únicamente información geométrica que conforma el modelo arquitectónico, con la cual, la disciplina interesada realizara los respectivos análisis o el desarrollo de sus diseños según su necesidad.

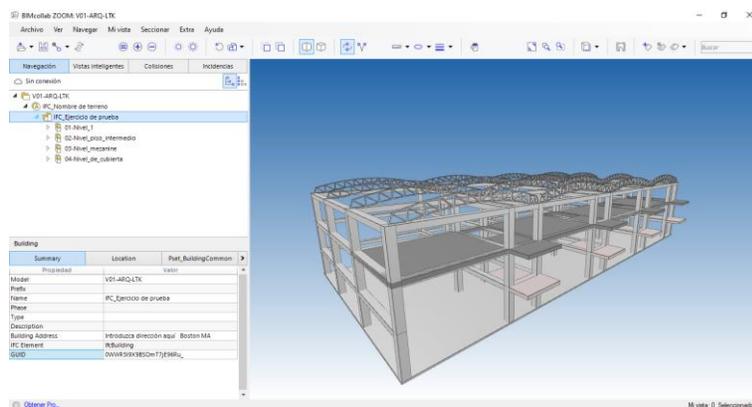
## **Caso de interoperabilidad basado en el concepto OpenBIM**

En este caso de interoperabilidad entre la especialidad de arquitectura y estructura bajo el uso de las herramientas Revit y Tekla, se logran ver resultados importantes:

Mediante la comprobación visual de las entidades se evidencia una inconsistencia en la geometría de la estructura de la cubierta, las cuales fueron modeladas como elementos de masa y fue exportada como elementos de proxy IFC. Esto da lugar a la necesidad de reconstruir los objetos en el software de ingeniería.

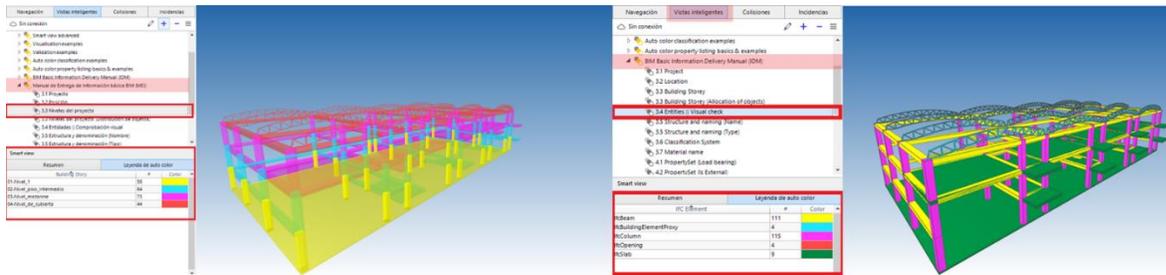
La imagen 77, refleja los componentes del modelo IFC acordados con la empresa caso de estudio como requisitos de intercambio del modelo arquitectónico. Allí se evidencia los componentes geométricos exportados del software nativo, aunque la plataforma de visualización no permite ver los ejes estructurales y las líneas de niveles ya que son elementos de anotación. Sí permite verificar de manera rápida otros aspectos que fueron acordados de intercambiar: la estructura, bordes de losa, niveles de entrepiso etc. Esta verificación garantiza que el archivo IFC emitido a la otra especialidad cumple con lo solicitado. Sin embargo, en esta etapa inicial, es necesario hacer una revisión de otros aspectos como la ubicación de los elementos con respecto a los niveles, lo cual es posible realizarlo, a partir de la plataforma BIMCollab Zoom, lo que permite realizar un chequeo de la estructuración general del proyecto, de manera didáctica y de fácil reconocimiento, logrando identificar por colores la ubicación de las entidades y el nivel al que corresponde, tal como lo muestra la imagen 78.

*Imagen 77: Validación del archivo IFC arquitectónico*



*Fuente: Elaboración propia*

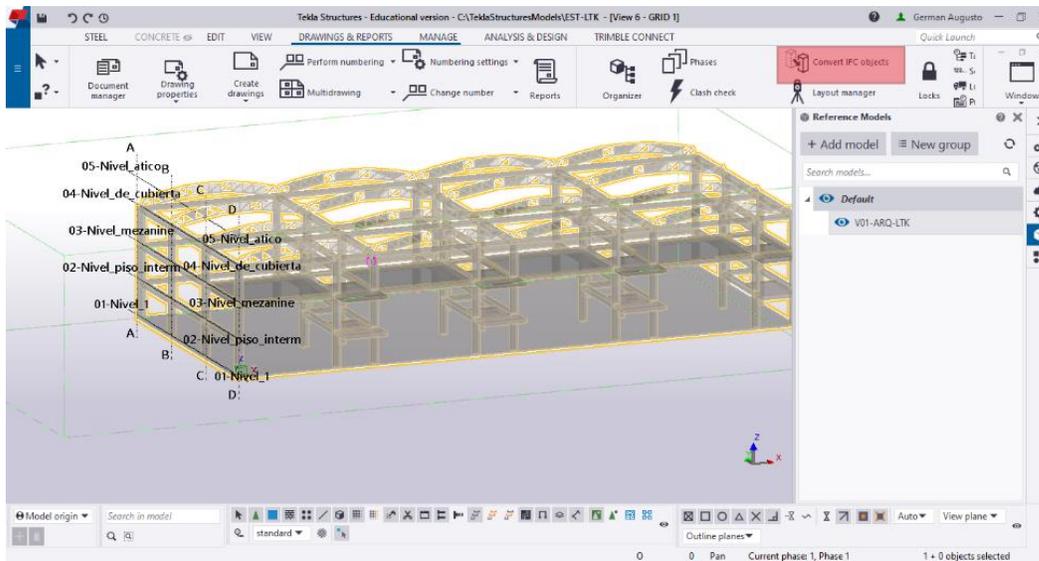
Imagen 78: Comprobación de vistas del modelo



Fuente: Elaboración propia

En la comprobación visual de las entidades se evidencia un problema en la creación de la estructura de cubierta desde el modelado arquitectónico, la cuales fueron modeladas como elementos de masa, es decir no se usó la entidad correcta en software de creación, y esto en efecto, generó un error de exportación y no fue reconocido como un elemento propio de IFC, técnicamente, los elementos de cubierta se exportaron como un elemento IFCproxy, que se podría asumir como “basura” del modelo IFC. Esto da lugar a la necesidad de reconstruir los objetos en el software de ingeniería.

Imagen 79: Importación de archivo IFC en Tekla Structure



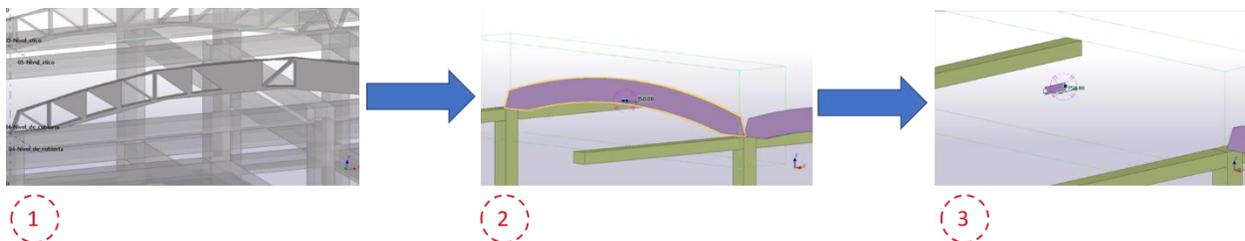
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la imagen anterior, Tekla Structure puede convertir objetos de referencia IFC lineales como vigas, columnas, tirantes, placas, losas, zapatas y muros en objetos nativos. Por lo tanto, la conversión admite elementos que tienen secciones curvas y que se completaron originalmente a partir de Tekla Structures. El propósito de convertir objetos IFC en Tekla Structures es ayudar en la creación del modelo estructural y evitar el reproceso en una fase temprana de modelado.

No obstante, existen limitaciones en la conversión de objetos IFC, y esto se debe en algunas ocasiones a que el software de importación no reconoce ciertos elementos como propio de su estructura, es decir, Tekla podrá reconocer, los muros, las columnas y pisos, pero no los pasamanos algunas puertas desarrolladas desde Revit.

En este caso, la dificultad se generó en la exportación de los elementos estructurales de cubierta, sobre la demás información no se evidenciaron dificultades en el proceso.

*Imagen 80: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure*



*Fuente: Elaboración propia*

La imagen 80, refleja el caso en que los elementos no son modelados adecuadamente. Allí los elementos de la estructura de cercha fueron modelados con la herramienta de componente in situ (masas) de Autodesk Revit, un caso que es recurrente en la práctica.

Al exportar el modelo desde Revit como archivo IFC e importado en Tekla Structure se evidencia en primera instancia que el archivo IFC importado sufre afectaciones en su geometría (imagen 80), no es fiel geoméricamente al objeto creado desde la plataforma de autoría. La gráfica 2 (imagen 80) representa el mismo elemento, aunque convertido en objeto nativo de Tekla, donde es notoria la desconfiguración total del elemento y no es leído por la herramienta como un objeto estructural conformado por diferentes piezas, si no en un único elemento de masa, que si bien

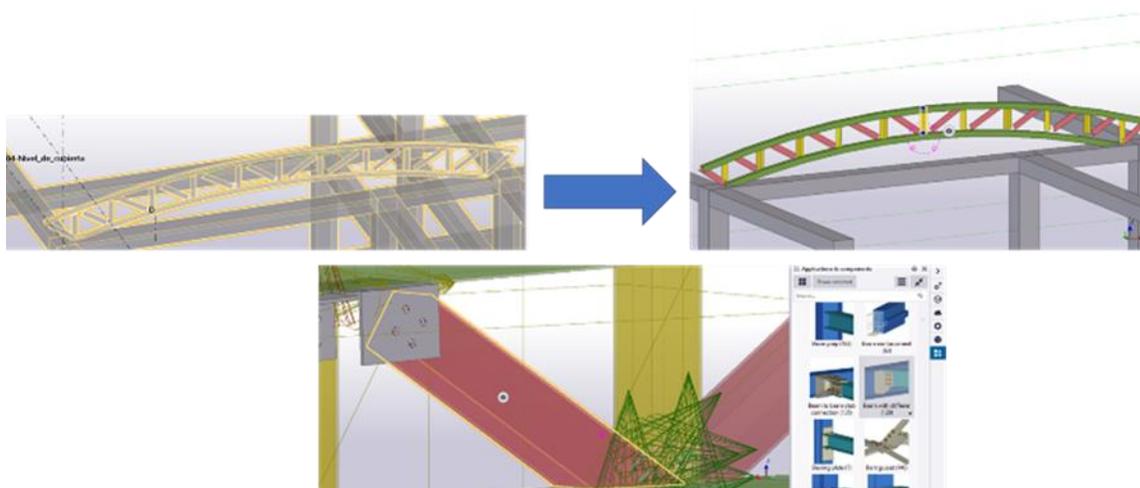
es posible cambiar el perfil como lo muestra la gráfica 3 de la imagen 80, se pierde la configuración del elemento o la cercha, lo que significa rehacer el trabajo nuevamente por el ingeniero (redibujar), un reproceso que podría evitarse solo siguiendo un correcto proceso desde Revit.

De acuerdo con lo anterior se modelaron nuevamente desde el software Revit los elementos de cercha que conforman la estructura de la cubierta, esta vez se desarrolló con la herramienta viga de celosía, tal como lo muestra la imagen 81. Esto con fin de realizar de nuevo el procedimiento de exportación e importación de Revit a Tekla y validar los beneficios que se obtienen en un proceso de comunicación en BIM.

Hacer usos de las herramientas adecuadas en el proceso de modelado, podría garantizar una interoperabilidad eficiente entre estas plataformas, lo que disminuye el tiempo de desarrollo del modelo de la especialidad con quien se colabora y por ende acorta los tiempos de sus diseños, siendo finalmente el cliente y el proyecto los beneficiados.

En el ejercicio realizado (ver imagen 81), se identifica que los elementos modelados como viga de celosía, e importados en Tekla como IFC, no pierden información geométrica y al momento de convertirlos como objetos nativos se identifican cada uno de los elementos que conforman la estructura de la cercha, esto trae como beneficio que los elementos se pueden manipular de forma independiente, y hacer los ajustes necesarios de acuerdo a los requerimientos y análisis del sistema estructura

*Imagen 81: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure*



I.

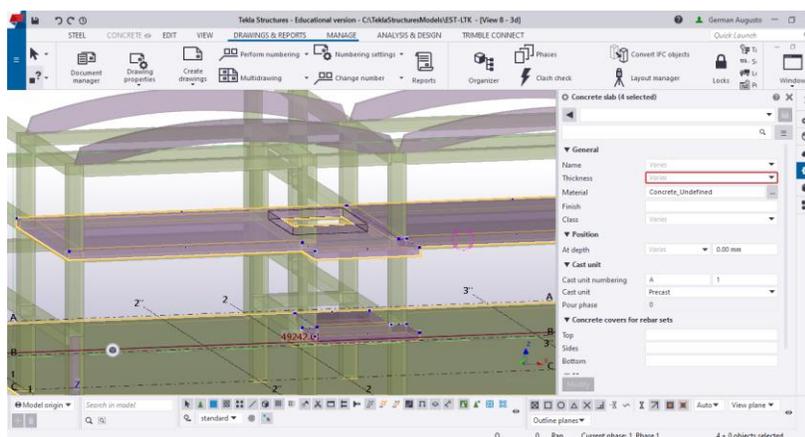
*Fuente: Elaboración propia*

### **El modelo arquitectónico como vínculo de referencia.**

Si bien, la herramienta “convertir objetos IFC” hace nativo cada elemento, la función lo que hace realmente es duplicarlos, permitiendo así, cambiar su tamaño, forma, y demás atributos de los elementos que sean necesario, sin perder la referencia externa, es decir se crean nuevos objetos en base al modelo IFC, en la posición y bajo las categorías de modelado correcta, las columnas como herramientas de columnas, las vigas como herramientas de vigas, piso como elementos de pisos, etc.

El proceso de convertir los objetos IFC a nativos reduce significativamente el tiempo de desarrollo del diseño estructural, además siendo un modelo de información la base de comunicación entre estas disciplinas facilita a gran escala la comprensión del proyecto y por ende la disminución de errores en el proceso de diseño.

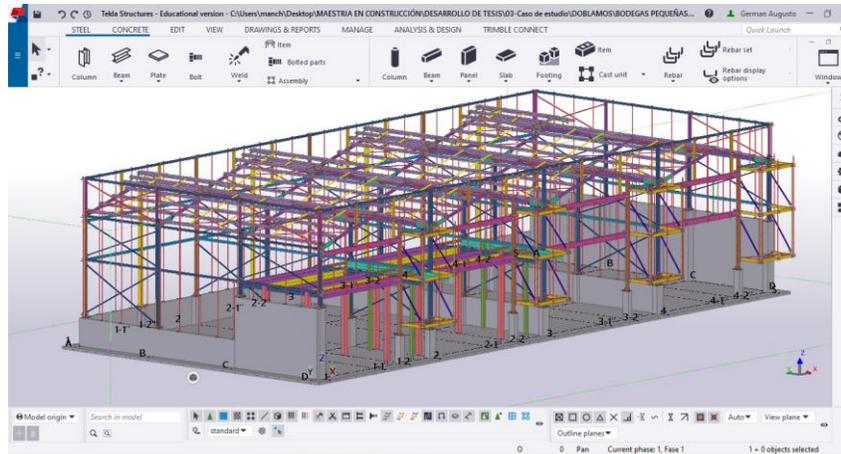
*Imagen 82: Verificación de objetos convertidos a nativo-Tekla Structure*



*Fuente: Elaboración propia*

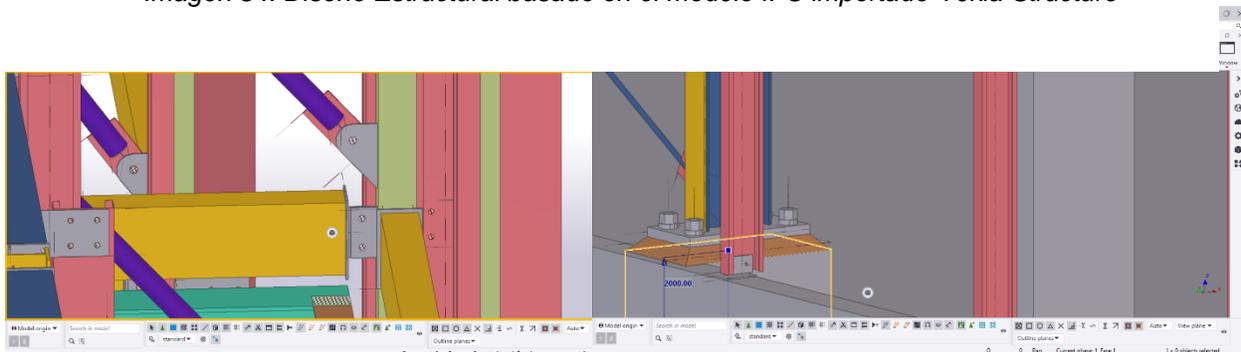
Una vez son convertidos los elementos a nativos de Tekla es posible eliminar el archivo arquitectónico importado e iniciar el desarrollo del diseño estructural en base a los elementos duplicados, los que se generaron en el proceso de conversión.

Imagen 83: Diseño Estructural basado en el modelo IFC importado- Tekla Structure



Fuente: Elaboración propia

Imagen 84: Diseño Estructural basado en el modelo IFC importado-Tekla Structure



Fuente: Elaboración propia

### **La comunicación basada en modelos de información**

La comunicación basada en modelos BIM, no finaliza con la transmisión de la información a la disciplina con quien se colabora. En el flujo de trabajo planteado, la interacción entre el arquitecto y el ingeniero calculista debe ser constante durante la fase de diseño del proyecto arquitectónico, lo que también es natural de la colaboración que se requiere para desarrollar en conjunto el proyecto.

Luego de conocer a través del capítulo 5 las dinámicas entre estas disciplinas es posible entender que, en una etapa temprana inicial de diseño, los elementos

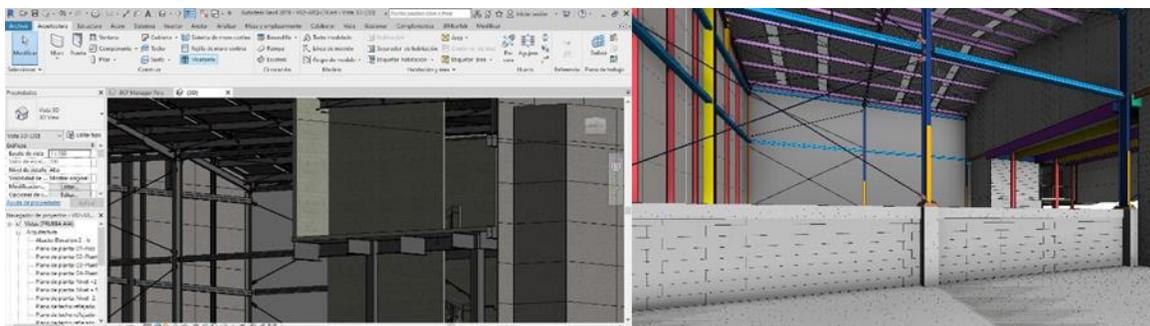
estructurales planteados por parte del arquitecto son únicamente representativos, es la conceptualización de los elementos que estructuran y conforman el espacio deseado. Lo que en efecto requiere de un estudio y análisis por parte del estructural para entrar en detalles e iniciar a definir elementos de forma, tamaños, distancias entre ejes, incluso evaluar la necesidad de adicionar apoyos o ejes estructurales, lo cual provoca cambios sustanciales sobre la arquitectura, en algunos casos. Estos cambios y nuevas necesidades que sufre el proyecto hacen que la interacción deba ser bidireccional, de ida y vuelta para coordinar y realizar los ajustes pertinentes en los planteamientos y por ende los cambio que sufra el modelo BIM.

Entendiendo lo anterior, el entorno BIM bajo la lógica que plantea OpenBIM, el modelo estructural ya desarrollado se transfiere mediante el formato IFC a la plataforma Revit, con el ánimo de identificar las dificultades que pueda surgir en el planteamiento arquitectónico.

En este caso, el modelo estructural fue importado como un vínculo de referencia, es decir como modelo no editable, ya que en este proceso lo que requiere el arquitecto es realizar cualquier tipo de ajustes del proyecto según las definiciones estructurales y a las convenidas en el proceso de coordinación.

Como es notorio en las imágenes siguientes, la exportación del archivo IFC producido en Tekla e importado a Revit se logró realizar sin ningún tipo de inconveniente, la estructura fue leída por Revit si inconvenientes, lo cual permite realizar las labores necesarias.

*Imagen 85: Comprobación del modelo estructural en Revit*



*Fuente: elaboración propia*

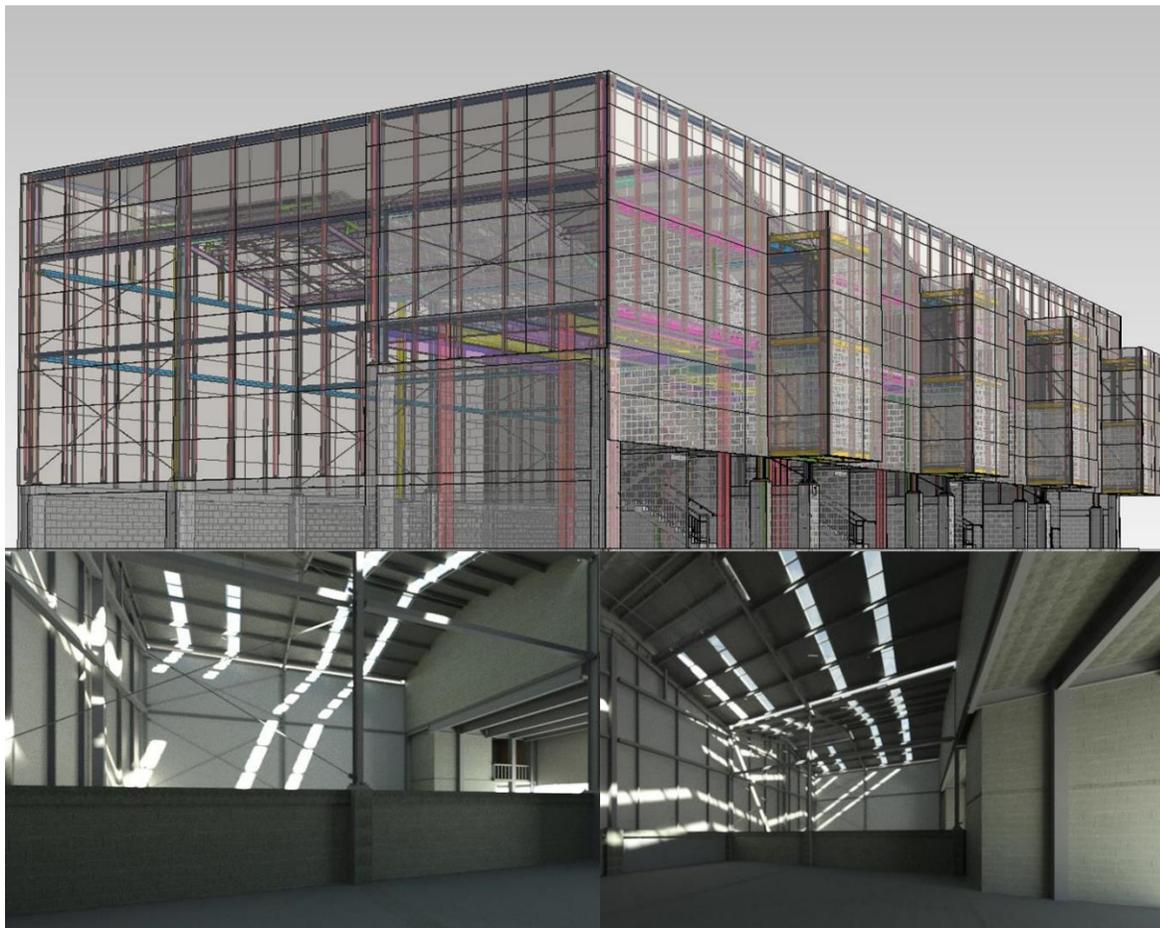
Este resultado demuestra que el flujo de trabajo durante estas disciplinas en etapas preliminares es posible realizarlo mediante el uso del formato IFC, aunque este

puede ser insuficiente si no se siguen protocolos básicos de comunicación y se consensuan los requisitos específicos y las necesidades de cada disciplina.

Como bien se dijo anteriormente, durante estas fases iniciales y procesos de coordinación de diseño es fundamental que la geometría de los elementos principales como, columnas, vigas y demás logren ser exportadas de manera exitosa de una plataforma a la otra.

Esto, abre el escenario hacia otros flujos de trabajo, donde OpenBIM se presenta como el camino a seguir para lograr la interoperabilidad tecnológica en el campo de la construcción apoyado en el uso de estándares abiertos que promuevan la colaboración entre los equipos de trabajo.

*Imagen 86: Visualización 3D modelo la Teka*



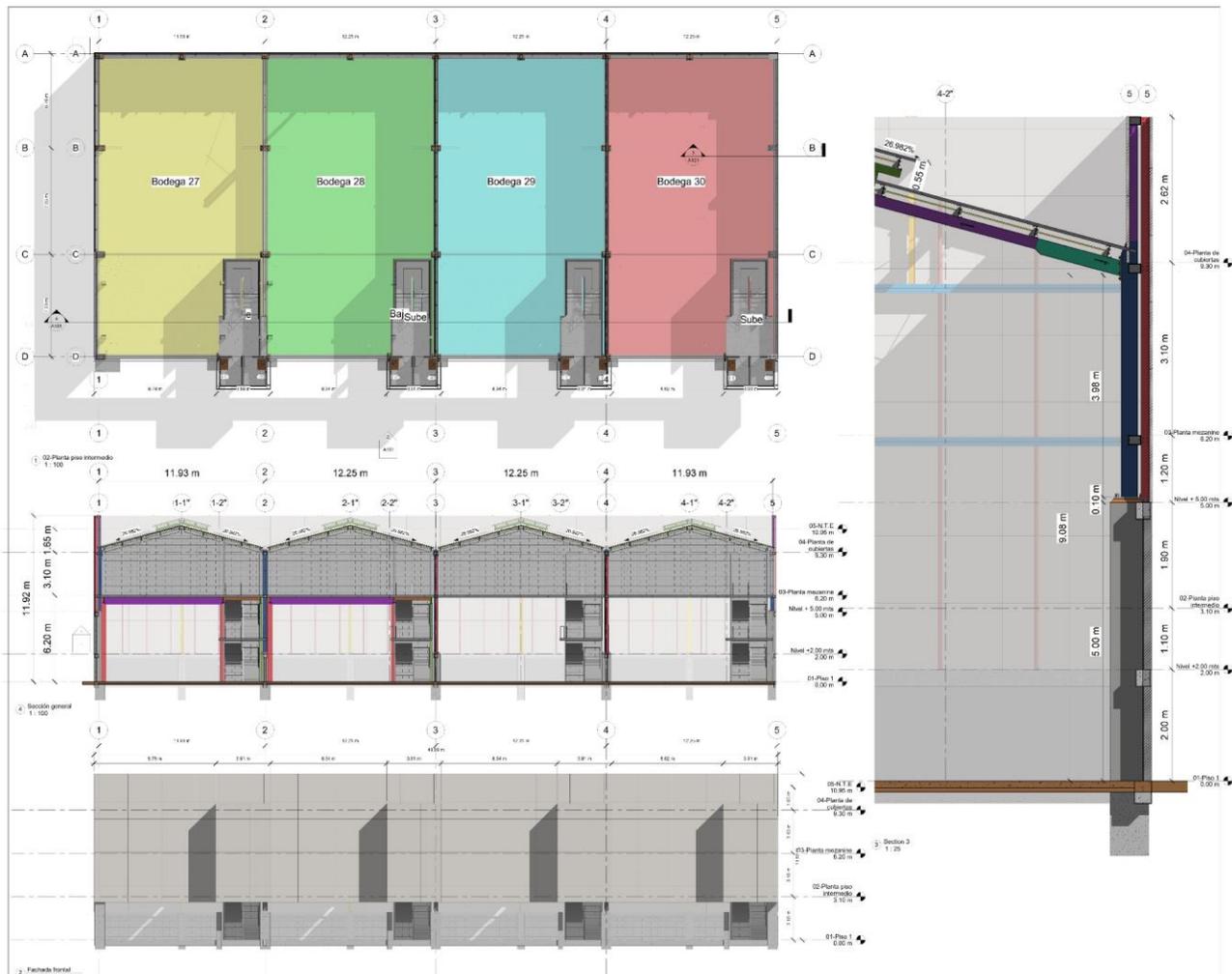
*Fuente: Elaboración propia*

Como actividad final de procesos ejemplificado se procedió a realizar un par de planos generales del proyecto desde la plataforma Revit, en los cuales se identifica

los componentes metálicos que hacen parte de la estructura y los demás elementos que conforman la arquitectura. Esto con el ánimo de exponer las bondades y ratificar el uso del formato IFC en la etapa de diseño.

Las plantas, secciones y fachada producidas (imagen 87) demuestran que el uso de archivo interoperable, además de permitir una coordinación y validación de los diseños también permiten incluirlos en cualquier tipo de entregables 2D, ajustar su expresión visual y otros atributos que permiten identificar técnicamente lo requerido por el cliente, la obra u otro interesado.

*Imagen 87: Planos arquitectónicos producidos en Revit– La Teka*



*Elaboración propia*



### **Nomenclatura y nombre de los modelos**

En un proceso de comunicación basada en modelos de información, los archivos deben ser nombrados de tal manera que sea de fácil y rápido reconocimiento aspectos relevantes respecto a:

- Versión entregada
- Disciplina específica del archivo
- Nombre del proyecto específico:

La nomenclatura propuesta para cumplir con estos parámetros corresponde a:

V00-NNN-XXXX (Nombre del proyecto)

*Dónde:*

- V00: Versión entregada del proyecto.
- NNN: Disciplina del archivo, las tres primeras letras que indica a la disciplina encargada del mantenimiento y gestión de dicho archivo. Esta letra deberá corresponder para este caso de estudio de la siguiente manera:
  - ARQ = Arquitectura
  - EST= Estructura
- XXXX (Nombre archivo): El nombre del archivo será las iniciales del nombre del proyecto.

De acuerdo a lo anterior, para este caso, los nombres de los modelos corresponderán de la siguiente manera:

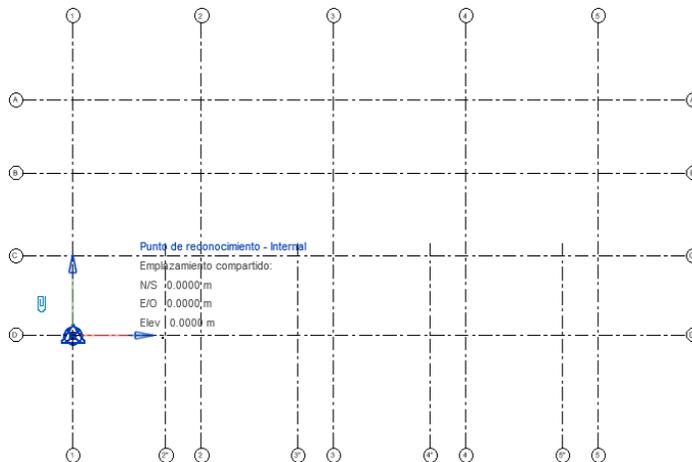
V01-ARQ-LTK

V01-EST-LTK

### Definición de coordenadas

Georreferenciar un modelo de construcción es la clave para lograr una buena coordinación, si todos los modelos son referenciados adecuadamente podrán ser vinculados y articulados en cualquier plataforma de gestión BIM.

Imagen 89: Modelo arquitectónico Revit Autodesk



Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas deben ser ubicadas en una zona positiva del primer cuadrante XY (cuadrante Norte -Este), y el origen de coordenadas será ubicado cerca del área del dibujo.

La condición anterior es fundamental y es necesario que la empresa caso de estudio lo tenga presente antes de iniciar el desarrollo de cualquier modelo colaborativo. Aunque no sea Doblamos quien determine este punto de georreferenciación, se debe coordinar con la disciplina encargada la ubicación del proyecto en el entorno virtual.

Como recomendación, en caso de no contar con una referencia topográfica ni el lugar exacto de implantación del proyecto, se puede definir un cruce de ejes como el centro de coordenadas XYZ (0,0,0), donde el nivel 0,0 es el Nivel de primer piso y de acceso a la edificación. Esta posición es justificada ya que el proyecto puede variar durante el proceso de diseño y le será más fácil validar la ubicación en etapas de coordinación con otros modelos.

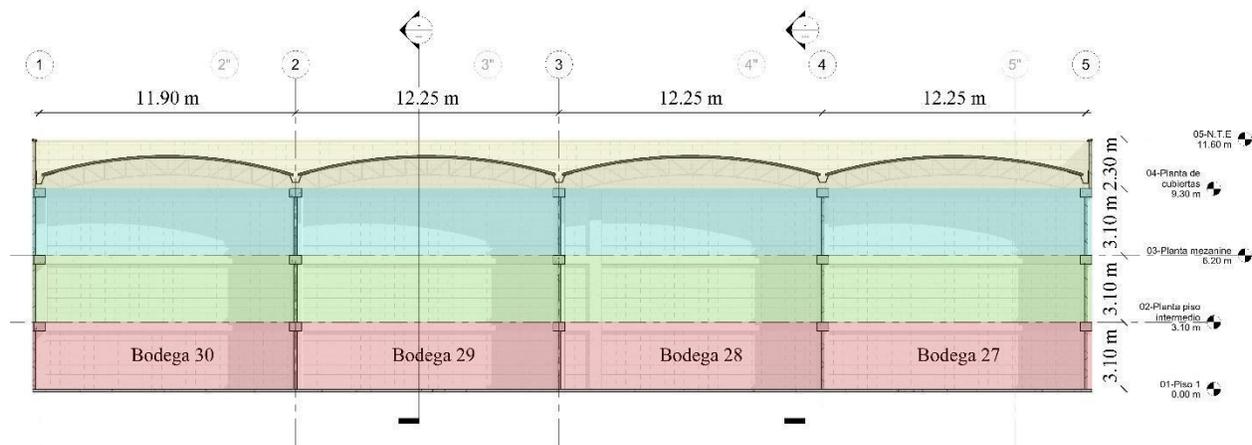
## Ejes, niveles

Es necesario que los niveles y los ejes sean los mismos en todos los modelos, de esta manera, se podrán realizar cualquier tipo de análisis y ser discriminados por los niveles presentes en cada uno de los proyectos.

Los modelos deben desarrollarse por niveles y todos los elementos deben asociarse al nivel de suelo, incluso aunque el software permitiera algo diferente. La razón es que la mayoría de software de simulación emplea niveles, las obras de construcción suelen construirse por plantas, y en la gestión del edificio, los servicios y la propiedad también usan la división por plantas.

Estas particularidades deben ser acordadas antes de iniciar la construcción de los modelos, ya que desde fases tempranas se requiere de una interacción y comunicación con otras disciplinas, como puede ser el caso entre el arquitecto y el ingeniero estructural, que, desde una etapa temprana de diseño, se requiere acordar ciertos aspectos del proyecto como: sistema estructural, ejes estructurales, niveles, y demás aspectos normativos del proyecto.

*Imagen 90: Verificación de elementos modelados por niveles*



*Fuente: Elaboración propia.*

## Roles y responsabilidades

Cada disciplina deberá contar con un coordinador BIM, responsable del trabajo desarrollado por los modeladores, quien, además, se asegure de que lo realizado

por su equipo cumpla con los estándares tanto internos como los establecidos para el desarrollo del proyecto en específico, así como los objetivos, plazos y demás compromisos definidos.

### Aseguramiento de la calidad de los modelos

Antes de iniciar el desarrollo de los diseños es necesario validar las coordenadas de trabajo y los niveles del proyecto acordados con anterioridad. En esta fase, se realizó un primer ejercicio de validación, integrando ambos modelos para asegurar la georreferenciación definida y no tener inconvenientes al interoperar entre las disciplinas en etapas futuras. Cada una es responsable del aseguramiento de la calidad de los modelos y será supervisada por el coordinador BIM de cada disciplina.

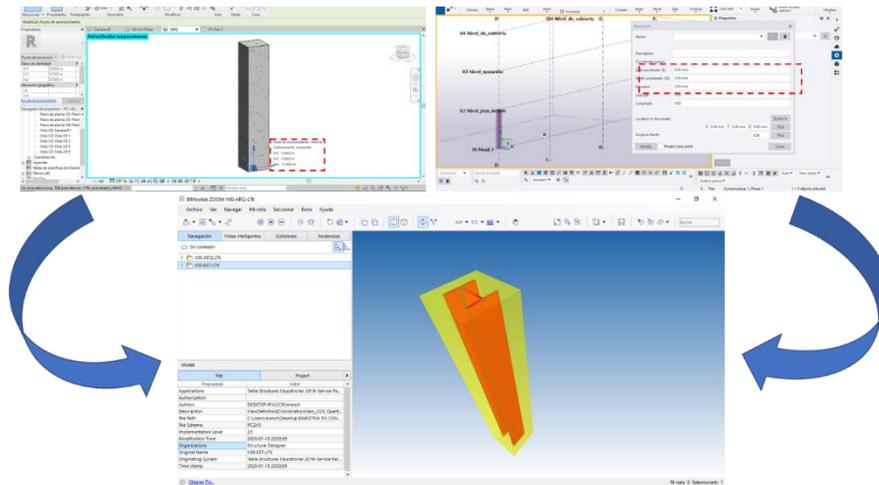
Imagen 91: Roles y responsabilidades de la calidad del modelo BIM



Fuente: Elaboración propia

El aseguramiento de la calidad de los modelos BIM se remite fundamentalmente a la validación de los archivos IFC. Por lo tanto, los diseñadores deben usar los módulos IFC para importar/exportar (de más reciente publicación de BuildinSMART) disponible para su herramienta de autoría de software BIM elegida.

En el ejercicio de validación, se realizó la exportación de ambos modelos en la versión IFC 2x3 e importados en la plataforma BIMCollab zoom para verificar lo anteriormente mencionado (imagen 92).

*Imagen 92: Validación de inserción de modelos**Fuente: Elaboración propia*

En este procedimiento se puede acordar modelar un elemento vertical en el punto de coordenadas definida (0,0,0), tal como lo muestra la anterior, para verificar así de forma más rápida y precisa la integración entre ambos modelos.

De acuerdo a lo anterior, se identifica en esta primera fase que la validación se realiza sin ningún inconveniente y se asegura que los modelos a desarrollar por las disciplinas coinciden en un mismo punto de georreferenciación y no tendrán inconvenientes al integrarlos en futuras ocasiones para cualquier tipo de análisis y coordinación de diseños.

El punto de georreferenciación no se debe cambiar de manera unilateral, si cambia por cualquier razón, esto debe ser acordado y comunicado a todas las partes involucradas en su desarrollo.

### Uso del archivo IFC

En el proceso de diseños entre el arquitecto y el ingeniero, el archivo IFC deberá usarse únicamente con fines de coordinación técnica de diseños, usado éste como una referencia externa no editable, ya que cada disciplina es responsable de sus diseños por lo tanto cualquier solicitud de cambio o ajuste será transmitida a la disciplina que corresponda y a partir de eso realizar los ajustes pertinentes.

### **Exportación de archivo IFC**

Antes de exportar el archivo IFC es necesario comprobar la configuración de exportación de acuerdo la información definida a transmitir y la finalidad con la que se va a utilizar. Una vez definido los requerimientos se filtra la información, especificando en la configuración de exportación IFC.

#### **5.5.7.2 Transformación del proceso empresaria interna y externa**

Luego de analizar la empresa caso de estudio, de entender la forma en que actualmente se comunican con las demás compañías que hacen uso de BIM, se evidencia que existen dificultades en los procesos comunicativos, no solo enfocados en la transferencia de información basada en modelos digitales, sino también desde el distanciamiento entre algunos profesionales que no participan de los procesos colaborativos.

BIM por supuesto, impone enormes ventajas en cuanto a la comunicación e interoperabilidad, sin embargo, se requiere adoptar, además, una metodología de trabajo colaborativa que integre a las empresas intervinientes. IPD, por sus condiciones contractualmente puede ser aquel método que involucre al fabricante de estructuras en este caso, y a los demás actores que participan en los procesos de diseño.

Bajo un método como IPD y el uso de BIM bajo un marco abierto (OpenBIM) es posible transformar los procesos comunicativos empresariales. Pues a partir de la integración contractual de IPD, se busca tener en la mesa a todos los actores participantes del diseño, entre esos, a una empresa como Doblamos, y bajo el uso de BIM poder mejorar el flujo de comunicación y reducir las dificultades que se dan por la emisión y recepción de planos bidimensionales. Lo que, por supuesto reduciría además los esfuerzos por parte de la empresa analizada, siendo esto un aporte significativo a la industria.

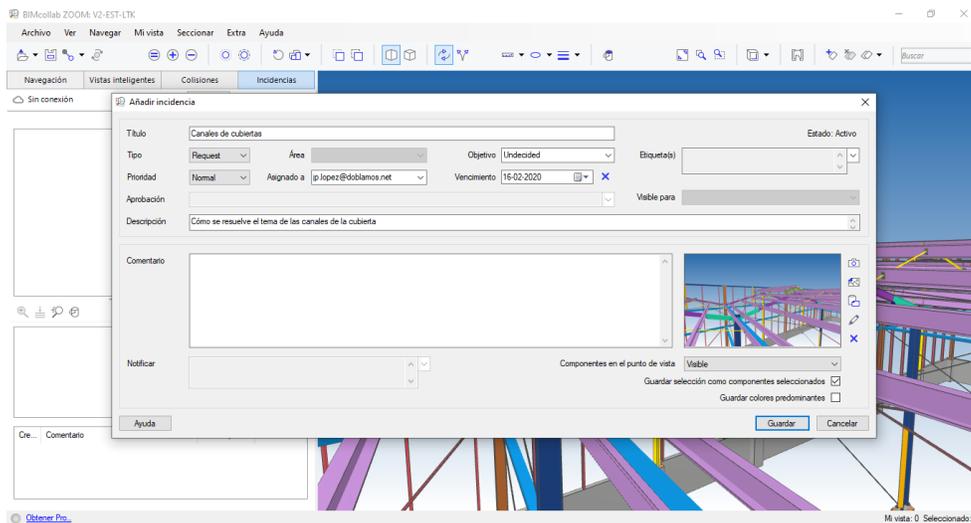
En la demostración a través del ejercicio práctico en el que se establece el beneficio del uso IFC, muestra que las dinámicas comunicativas deben cambiar y se deben enfocar hacia el uso de formatos abiertos en estos casos particulares, donde exista la necesidad de comunicar la información con un actor que no usa la misma herramienta BIM. Esto, en beneficio, cambia las dinámicas y los procesos internos en la compañía, pues los esfuerzos se disminuyen, y en efecto se requerirá menor personal para desarrollar ciertas labores, y, por ende, la compañía podría responder a un mayor flujo de trabajo que el actual.

Laborar bajo la óptica de OpenBIM, desarrollando modelos estructurales a partir de vínculos externos IFC, permite disminuir el grado de incertidumbre sobre lo que se está desarrollando, lo cual provoca menos errores sobre el diseño y la fabricación de los componentes metálicos.

La transferencia de información a través de correos digitales, mensajes de texto por redes sociales y demás, en ocasiones no logra la comprensión por parte del receptor de lo que se trasmite, lo que en efecto conduce a la mala interpretación y errores en el diseño y la construcción, Además, las respuestas o la retroalimentación sobre lo que se comunica suele tardarse por diversas situaciones.

De lo mencionado, como propuesta para mejorar los procesos comunicativos en los entornos BIM, esta investigación plantea el uso del formato BCF para facilitar la comunicación abierta y mejorar los procesos dentro de un marco OpenBIM basados en IFC. Tanto con el cliente, como los demás involucrados en el proyecto, podrán recibir un modelo IFC de las estructuras metálicas, visualizarlo tridimensionalmente, comprenderlo y hacer observaciones o gestionar los problemas del mismo modelo recibido.

*Imagen 93: Propuesta para uso de BCF*



*Fuente: Elaboración propia*

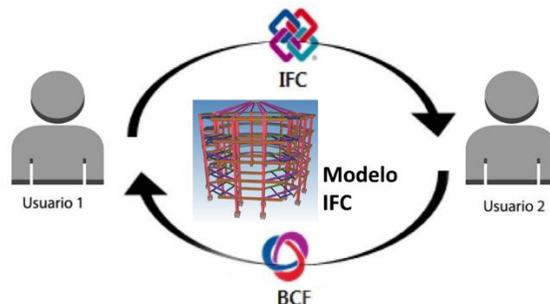
Como lo muestra la imagen 93, la visualización y los comentarios realizados sobre un modelo 3D permite mejorar el entendimiento y dar soluciones a las dificultades

de manera acertada. El BCF o lo que se propone, emite un archivo bajo la extensión mencionada, el cual puede ser leído por una herramienta BIM como Revit o Tekla, siempre y cuando se haga uso de Plugin. El receptor, al importar el archivo a su herramienta de diseño, podrá visualizar a modo de presentación todos los comentarios realizados sobre el modelo, y al hacer un doble clic en cualquier imagen, esta lo llevara directo al elemento del modelo sobre el cual se hace la observación. Con esto lo que se busca, es disminuir el tiempo que se puede tomar cualquier disciplina en encontrar, comprender e interpretar lo que por correo electrónico o cualquier otro medio se describe de forma textual.

El formato BCF puede ser usado de formas diferente. Uno mediante el envío por correo electrónico, y dos, mediante un servidor en la nube, el que metodológicamente pueda ser subido y revisado de forma periódica por el cualquier responsable.

En caso de no contar con la disponibilidad de un servidor en la nube por temas de costos y demás, un proceso en que se haga uso de BCF, puede como lo representa gráficamente la imagen 94 , en el que el usuario 1 (que puede ser Doblamos) a través de correo electrónico le envié al cliente y demás interesados que no cuenten con licencias de Tekla, el modelo en formato IFC, el cual, el usuario 2 podrá abrir para visualizar en una plataforma gratuita como BIMCollab Zoom por ejemplo o cualquier otra como Naviworks, y desde esa misma plataforma, el interesado podrá hacer comentarios, sugerencias sobre algún elemento particular del modelo, y luego enviar los problemas evidenciados o comentarios sugeridos, en una presentación comprimida bajo la extensión del formato BFC, es decir, se envían anotaciones sobre partes del modelo. Luego el responsable podrá importar esa presentación al su software de trabajo e identificar claramente los comentarios sobre el modelo y hacer los respectivos ajustes o aclaraciones.

Imagen 94: Propuesta de comunicación

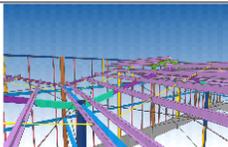
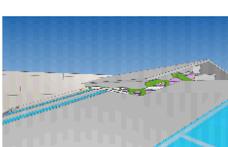
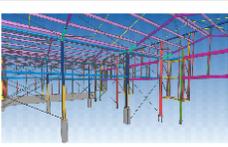
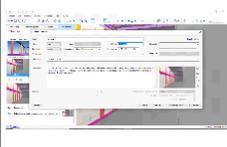
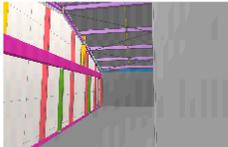


Fuente: Elaboración propia

Para ejemplificar lo anterior, se desarrolla un breve ejercicio. En este caso se toma como referencia los comentarios plasmados en las actas de comité o copias de correos electrónicos, compartidos por la empresa caso de estudio para realizar la gestión de problemas basado en modelos BIM.

La tabla 9, refleja gráficamente cada uno de los problemas que mediante correos electrónicos fueron enviados por parte de la obra a Doblamos durante el desarrollo del proyecto La Teka (ver subcapítulo 5.5.7.1). Las dificultades en la lectura de los planos llevaban a cuestionamientos por parte del receptor que fácilmente pueden ser resueltas tan solo con la disponibilidad de un modelo 3D altamente detallado.

*Tabla 9: Gestión de problemas con BCF*

#	Gestión del problema	Imagen de referencia	Descripción
1			¿Cómo se resuelve el tema de las canales de la cubierta? “
2			Cuál es la posición real de la cubierta? ya que la estructura vertical de soporte está más alta que la base las correas y eso limita la altura de las canales
3			En el lucernario igualmente no está claro cómo va la cubierta cuando remata por debajo de este lucernario, porque se cierra la boca de entrada de aire por eso insistimos en que definan que tipo de cubierta se va a instalar( espesor ).
4			No aparece tampoco el detalle de las divisiones internas entre bodegas, ¿cómo van? porque aparece en los planos estructurales unas diagonales como tensores JUSTAMENTE en el eje donde estaría localizado el cerramiento.
5			Sobre el cerramiento, tampoco es claro como es el cerramiento lateral contra el módulo de locales y oficinas, porque la estructura principal está invadiendo con los pedestales un espacio de esos locales y en la parte superior debe rematar en un muro atico lateral que tampoco aparece en el isométrico enviado

*Fuente: Elaboración propia*

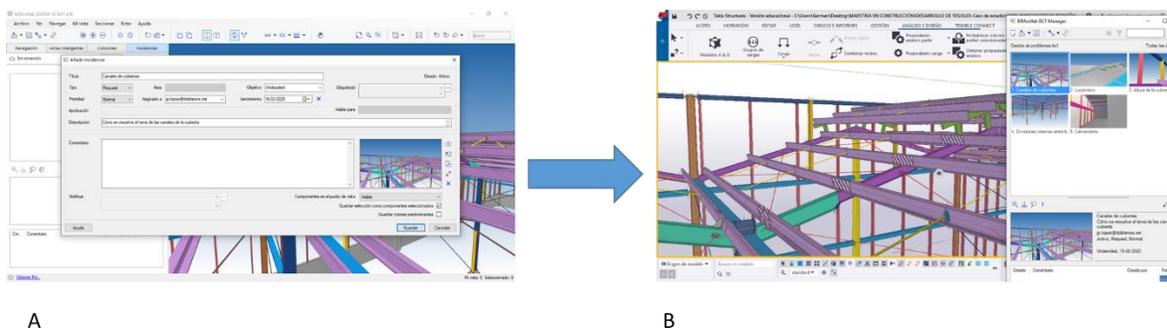
En la tabla anterior, se reflejan 3 columnas, una en la que se muestra la gestión de un problema en formato BCF, otra en la que se adjunta una imagen de referencia

para identificar el problema en cuestión, y la última, la descripción del comentario, lo que corresponde a la misma inquietud de la obra hacia la empresa Doblamos, y estas van desde la falta de comprensión de los planos hasta la solicitud de información adicional que no fue plasmada o enviada en ocasiones anteriores.

Tomando como referencia uno de las inquietudes por parte de la obra hacia Doblamos, donde interrogaban: “¿Cómo se resuelve el tema de las canales de la cubierta?”

Puede ser que tan solo con disponer del modelo 3D, el constructor va a comprender el cómo se resuelven las canales de la cubierta en cuestión, o de caso contrario, puede contar con la disponibilidad de hacer el interrogante a partir del mismo modelo. Como lo ilustra el gráfico A de la imagen 95, los comentarios son realizados desde BIMCollabZoom que puede ser la plataforma que use el constructor, allí se hacen los comentarios, se destinan las fechas de revisión y la prioridad del asunto. Luego de recibir Doblamos los comentarios sobre el modelo, este podrá importar ese archivo de extensión BCF al software Tekla, el cual podrá visualizar en forma de presentación, así como lo muestra el gráfico B de la imagen 95. Estas no son estáticas, pues se enlazan al modelo directamente, y al hacer doble clic sobre una de ellas, se dirigirá directamente a la ubicación real del problema en cuestión, aspecto que reduce los tiempos y demás problemas que se han comentado anteriormente.

Imagen 95: Uso de BCF como propuesta de comunicación



Fuente: Elaboración propia

Con el arquitecto, o con cualquier otro interesado, se podrá llevar una dinámica similar a lo expuesto, lo interesante es la fácil comprensión de lo que se cuestiona,

pues la descripción del problema no es solo un conjunto de letras que puede mal interpretarse por una mala redacción o por lo escueta que pueda ser la descripción.

El hecho de usar formatos OpenBIM como IFC o BCF, resulta de mayor interés cuando la información de los modelos puede ser compartida con cualquier interesado, y este no necesariamente requiere de una licencia de un software particular para visualizar, revisar o hacer comentarios sobre lo recibido. Esto es una forma de interoperar, y en BIM se considera óptima, ya que es un proceso transparente no solo con proyecto si no a lo demás particulares. En un caso como el presentado, la obra no necesita tener instalado Revit y Tekla o cargar con gasto adicionales en la compra de otras licencias, pues a través de una plataforma de descarga gratuita como algunas del mercado, el constructor podrá visualizar y recorrer el proyecto e integrar todas las especialidades en un solo modelo.

Por todo lo anterior, el uso de modelos 3D y las dinámicas surgidas a partir de este, pueden resultar siempre y cuando se tengan estándares claros de comunicación, pues por más eficientes que puedan ser este tipo de flujos de trabajo a través de estas herramientas tecnológicas, no resolverán las problemáticas si no se dan unos comportamientos humanos que motiven al cambio, y que estén dispuestos a colaborar entre las partes.

En ese sentido, la propuesta para cambiar las dinámicas de comunicación está enfocada a dos asuntos:

1. Compartir la información que se produce en los modelos BIM desde el Software Tekla y que se beneficien los demás actores implicados en el proyecto de los que desarrolla Doblamos en su interior. Esto no es un beneficio para un particular, si no para el proyecto en general.
2. Las dudas, problemas o los comentarios puedan ser resueltos e interpretados a través del uso del modelo en formato IFC, y no mediante correos electrónicos de forma escrita. Esto busca reducir el rango de incertidumbre, los tiempos de respuesta, etc.

Propuestas como las anteriores, deberían ser aplicadas en el desarrollo de cualquier proyecto de edificación y no únicamente en los realizados por la empresa analizada.

### **5.5.7.3 Consolidación de la metodología BIM como opción de los mejoramientos de los procesos colaborativos**

Lo dicho a lo largo de la presente investigación, además de lo evaluado a partir de la empresa Doblamos confirma que el uso de la metodología BIM es la opción que la industria de la construcción debe tomar para aumentar la productividad y la eficiencia de los flujos de trabajo colaborativos en la industria de la construcción.

Un aspecto importante que consolida a BIM como opción para mejorar los procesos colaborativos, es el hecho de poder juntar a todos los actores que intervienen en el desarrollo de un proyecto de edificación, bajo un entorno común de datos. Y esto precisamente es uno de los mayores aportes que la metodología puede brindar a la empresa caso de estudio. Siendo Doblamos el diseñador de estructuras metálicas, o el fabricante en el mayor de los casos, el uso de BIM dentro de un marco abierto de trabajo como el que presenta OpenBIM, le permitiría incorporarse a los entornos de trabajo de un proyecto y participar en su desarrollo desde etapas muy tempranas. Lo cual, en efecto, solventaría esa segregación del fabricante en los procesos que pueden ser sumamente importantes, y sobre los cuales puede dar aportes significativos que beneficien al proyecto y al propietario.

Entrar desde el inicio del desarrollo, y compartir la información producida en sus modelos BIM, concedería al gerente, propietario o cualquier otro responsable, conocer los datos reales de las estructuras, en cuanto pesos, dimensiones, anclajes y demás, y esto, por supuesto daría la oportunidad de tomar decisiones certeras sobre el proyecto, por ejemplo, al saber que las estructuras se pueden diseñar de menor peso a lo concebido, se pueden tomar acciones en el proyecto, como reducir las cargas de las cimentaciones, que aunque parezca simple, es un hecho, que tendría un alto impacto sobre los costos del proyecto, la disminución de costos en la cimentación de una edificación representa un porcentaje considerable.

Ante lo anterior, se considera que es ahí donde están las oportunidades en las mejoras de colaboración, y es que los demás implicados en el desarrollo de un proyecto de edificación puedan hacer uso de los modelos y de los datos que se producen al interior de Doblamos, pues, aunque suelen tener unos procesos internos muy definidos, la información queda contenida en la misma compañía.

En la empresa analizada particularmente, la adopción del concepto OpenBIM como metodología de trabajo, mejoraría los procesos comunicativos con los externos. Pues, la transferencia de modelos de información como medio de comunicación, reduciría los tiempos de inactividad, de revisión de los proyectos, incluso mejorarían

el entendimiento que, en ocasiones, no se logra dar a plenitud dado las deficiencias que se tienen del manejo de la información en 2D.

### **5.5.8 Conclusiones sobre el caso de estudio**

Doblamos, es un claro ejemplo de los beneficios que brinda la adopción tecnológica en cuanto a la productividad. La adopción de herramientas avanzadas y de maquinaria “de punta” han permitido automatizar una serie de procesos internos que ha resultado ser clave para responder a los altos flujos de trabajo y a la demanda actual de la industria.

Lo anterior, es precisamente uno de los mayores aportes que una compañía como la analizada le brinda campo de la construcción. Precisión, rapidez, optimización y demás, es lo que resulta de los procesos automatizados, y es lo que el sector viene buscando de forma acelerada hoy día, pues las edificaciones contemporáneas requieren de desarrollos óptimos, en términos de productividad, eficiencia, recursos, etc. Lo que en esencia contribuye a la sostenibilidad.

Por ello BIM crece con rapidez en la industria, y esto en efecto, trae nuevos retos para una compañía como Doblamos, especialmente en la comunicación con los actores que participa en el desarrollo de sus proyectos. Pues el desafío está en trasladar de manera eficiente la información con el arquitecto, quien es con el que mayor participación tiene en el desarrollo de un proyecto, además, es la disciplina con mayor adopción de BIM en el país, tal como lo demuestran diferentes investigaciones y como lo recalca la presente.

Eso por supuesto provoca un jalonamiento al diseñador de estructuras metálicas, dada la alta responsabilidad que comparten frente al desarrollo del proyecto. Y aunque suene lejos, Doblamos necesita cambiar sus flujos externos de comunicación, tanto de la información saliente como entrante. El panorama que se le avecina, si no es el que ya tiene en frente, es el de comunicar modelos de información y no planos DWG como se hace en la actualidad, pues las dificultades y sobrecostos alrededor de esto ha sido identificado a partir del proyecto ejemplificante: Ciudadela Universitaria de Occidente.

Recibir modelos de información, los cuales puedan abrir, interpretar e interactuar con ellos, les va a permitir desarrollar proyectos mucho más eficientes, disminuir los errores, no solo en el diseño sino también de producción, además de anteponerse

a los problemas desde el diseño, donde suelen ser más económicos, y no en la puesta en sitio como ocurre actualmente.

El desarrollo de sus diseños a partir del uso de modelos BIM como referencia externa les va a disminuir la incertidumbre frente al proyecto que en ocasiones se da por la falta de comprensión de los planos bidimensionales, lo que también disminuiría los tiempos de revisión.

OpenBIM a Doblamos puede abrirle el panorama hacia el desarrollo de estructuras más eficientes que las de hoy en día, y esto dado al aumento de la participación que podrían tener en el desarrollo de un proyecto. Como ya se ha dicho, esta compañía como fabricante y diseñador, en algunas ocasiones, requiere ser involucrada a trabajar de la mano no solo con el arquitecto sino también con otros profesionales que influyen sobre sus labores, como el hidráulico, el diseñador de estructuras de concreto, etc.

Y si bien, puede existir una figura que haga las veces de coordinador e integrador de diseños y modelos BIM, Doblamos debe estar sentado en la mesa de trabajo junto al equipo desarrollador de diseño cuando se requiere, y no dejarse de lado y ser vista solo como un consultor. Esta sería la oportunidad que la adopción del concepto OpenBIM puede brindarle no solo al Doblamos si no a la industria en general, pues sus aportes desde etapas tempranas pueden ser los responsables de construir edificaciones mucho más eficientes, económicas, funcionales, rápidas, etc.

No obstante, en la actualidad la integración de Doblamos al mundo BIM se ve interrumpida por el desconocimiento de formatos para interoperar a nivel tecnológico. OpenBIM en definitiva es el concepto que marca la pauta para Doblamos aportar a la industria. Los formatos “universales”, como el IFC que es el que presenta esta investigación es el vehículo que debe adquirir la industria y Doblamos en el camino hacia la interoperabilidad.

IFC en la actualidad demuestra ser el formato bajo el cual la compañía analizada y otros actores que hacen uso de herramientas de menor demanda y uso en el mercado podrían usar como vehículo que les permitiría ingresar a un entorno de trabajo abierto bajo el cual se haga uso de BIM.

En efecto, lo anterior, requiere por parte de Doblamos y de la industria, conocer los conceptos básicos para que a la interoperabilidad pueda darse. A través del caso práctico de estudio se reconoce que el flujo de trabajo entre un arquitecto e ingeniero que hagan uso del software Revit y Tekla, es funcional y óptimo en una etapa inicial de diseño, los componentes mínimos que en esa fase se requieren

trasladar entre una especialidad y la otra se da sin mayores dificultades, y este es el primer paso para encontrar la anhelada de interoperabilidad. Aunque esto no deja de lado hacer mayores evaluaciones, no solo en la etapa de diseño si no en otras fases del proyecto como en la construcción o mantenimiento.

En definitiva, Doblamos puede ser calificada como una empresa competitiva que está preparada para asumir los retos que impone el mercado de la industria de la construcción actualmente. Y si bien existen dificultades en la integración en un entorno BIM no se debe únicamente a sus vacíos frente al tema, sino también, a la de una industria en general que apenas inicia a involucrarse hacia un nuevo método de trabajo.

Sin embargo, son pasos importantes los que se vienen dando, y Doblamos junto a la industria de la construcción del país están llamados a cambiar sus formas de comunicación, los métodos tradicionales son obsoletos y propensos a errores, el desarrollo de las edificaciones contemporáneas requieren de nuevas alternativas de trabajo, en este caso, se reconoce que la interoperabilidad en BIM es el camino correcto para combatir las dificultades de interoperabilidad desde cualquier ámbito, aunque esto requiera de protocolos abiertos altamente definidos para enlazar todos los actores que intervienen en los flujos de trabajo y el estado en particular tiene una gran responsabilidad frente al tema.

## Conclusiones

La aproximación inicial al concepto de interoperabilidad en el entorno BIM lleva a creer que los beneficios, dificultades y oportunidades para mejorar la comunicación y el flujo de trabajo en la etapa de diseño de una edificación, están únicamente en el mejoramiento de los aspectos tecnológicos que garantizan el poder comunicar una plataforma con otra para hacer uso de los datos producidos por las partes. Sin embargo, la indagación profunda y amplia de su significado permitió concluir que ésta abarca más que condiciones técnicas, ya que los aspectos humanos juegan un papel profundo en torno a las problemáticas del tema, pues de la capacidad de las personas y/u organizaciones para adaptarse a los cambios, dependerá la posibilidad real de encontrar y aprovechar el beneficio que la evolución tecnológica ofrece al campo de la construcción.

La dificultad de hallar documentación teórica que ayudara a argumentar y tejer la problemática planteada en la presente investigación, llevó a la necesidad de abordar entrevistas y conversaciones con expertos para entender, desde su perspectiva y experiencia, las dificultades y los beneficios que se obtienen de una adecuada comunicación e interoperabilidad entre las diferentes disciplinas que participan en el procesos de diseño de una edificación, las relaciones que se dan con el cliente, la información que se trasmite, el momento en que se establece, los medios que se usan y los problemas existentes, entre otros aspectos.

Esa indagación, además apoyada en la revisión bibliográfica de diversas fuentes, permitió sustentar claramente los problemas desde el ámbito humano y tecnológico que llevan a la falta de interoperabilidad dentro del entorno BIM y de lo cual se concluye lo siguiente:

**Primero: Los problemas de la interoperabilidad en la industria de la construcción no se asocian únicamente al uso de herramientas tecnológicas. Las principales barreras del sector están relacionadas a los factores de comportamientos humanos que dificultan la colaboración dentro de un ambiente común de trabajo.**

A partir de las dificultades expuestas en el capítulo 1, relacionadas a las problemáticas de la comunicación entre los diferentes actores de un proyecto por la falta de integración efectiva del equipo de trabajo, que en ocasiones se atribuye a la falta de capacidad de las personas para trabajar de manera conjunta en un ambiente común, lleva a concluir que las organizaciones necesitan evolucionar y promover el trabajo colaborativo a partir de la estimulación del talento humano.

Las compañías involucradas en el campo de la construcción son llamadas a mejorar el desempeño de sus equipos para así aumentar su competitividad, la relación con sus clientes y demás actores con los que colaboran. La formación de los grupos de trabajo y la definición de los roles de cada integrante deben ser basados en sus talentos, pues esto brinda la oportunidad de que los miembros tengan una participación efectiva y que cada uno haga aquello que se le da bien según sus habilidades. Esto por supuesto plantea la conformación de equipos dinámicos, productivos y altamente competitivos, que pongan por encima las satisfacciones personales y colectivas sobre cualquier proceso.

**Segundo: La ausencia de metodologías diseño colaborativas tales como el IPD impide un adecuado marco de trabajo donde las disciplinas se integran temprano en las etapas de diseño.**

Lo expuestos a través de la experiencia de empresas constructoras como AIA (ver subcapítulo 1.4.2) permiten ratificar que los proyectos se deben resolver a través de un modelo integrado donde los actores puedan aportar sus conocimientos desde momentos iniciales del proceso para subsanar o proveer las dificultades que puedan surgir en el proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Lo que además aporta a la disminución de reprocesos y errores que se dan en los diseños por la entrada tardía de algunos actores, como es el caso del ingeniero estructural según lo dicho en el capítulo 5.

En efecto, métodos como IPD, que pueden ser ceñidos a una condición de contrato se plantea como alternativa para la solución de algunos problemas de comunicación e interoperabilidad dentro del campo de la construcción, ya que permiten aumentar las relaciones y la comunicación personal al poder reunir a todos los actores interviniente en el desarrollo de un proyecto.

En ese sentido, es importante tomar conciencia y entender que el desarrollo de los proyectos actuales o contemporáneos requieren de otros flujos de trabajo, y es aquí donde los propietarios, gerentes, incluso el estado, pueden generar un gran aporte, pues, los métodos contractuales deben de responder a las nuevas necesidades en función de

los beneficios del proyecto, como se ha expuesto a través de la investigación. El trabajo en equipo, la buena comunicación y demás, favorece a la buena marcha de un proyecto de construcción, de hecho, es lo que ha llevado al éxito a grandes compañías ajenas a la industria de la construcción y de las cuales se deberían de tomar ejemplo.

**Tercero: Para lograr la promesa que ofrece la transformación digital enfocada al sector de la construcción no es suficiente con la adopción de plataformas tecnológicas BIM que faciliten la gestión de la información del proyecto, sino que se hace necesario la implementación de otro tipo de metodologías que junto a BIM puedan favorecer el trabajo colaborativo al interior de las empresas y entre ellas promuevan la interoperabilidad en todos los ámbitos concernientes al proyecto.**

Metodologías que promuevan el trabajo colaborativo al interior de una organización como IPD, incluso otras como Scrum integradas dentro del método de trabajo propuesto por BIM, se plantean como alternativa para la solución de algunos problemas de comunicación e interoperabilidad dentro del campo de la construcción.

La introducción de estas metodologías, permiten cambiar las costumbres organizacionales a partir de las buenas prácticas, fomentar el trabajo colaborativo, valorando a los individuos y su interacción en mayor medida que a los procesos y las herramientas. De esta forma, la adopción de estos métodos al interior de una empresa ayudará a fortalecer y crear lazos colaborativos que no permiten los procesos tradicionales de trabajo.

La participación activa del cliente como principio de este tipo de estrategias favorece la reducción del tiempo de las entregas y desarrollo de las edificaciones, pues sus necesidades serán satisfechas en periodos de tiempos más cortos, ya que las interacciones constantes permiten tomar decisiones más rápidas y certeras. Del mismo modo, BIM como medio de comunicación a través del uso de un modelo 3D favorecerá al entendimiento del proyecto por parte del cliente y los demás actores involucrados, lo cual permite tomar decisiones contundentes y oportunas en cuanto a la arquitectura se refiere.

**Cuarto: Para mejorar la interoperabilidad en el campo de la construcción se requiere del manejo de herramientas que faciliten el entendimiento de un proyecto y de protocolos que estandaricen la comunicación.**

Los problemas puntualizados el subcapítulo 1.2 permiten confirmar que los métodos actuales de transferencia de información (documentos bidimensionales, planos en papel o digitales en 2D) son cada vez más ineficientes ya que no permiten obtener el entendimiento claro del proyecto, por lo cual, los resultados finales no suelen ser los

esperados por el cliente o por cualquier otro interesado. Así mismo, lo expuesto permite establecer que la ausencia de protocolos de comunicación afecta la interoperabilidad y genera reprocesos en la etapa de diseño.

Partiendo de esto, la presente tesis ratifica la necesidad de hacer uso de manera general de modelos BIM como medios de comunicación entre los diferentes actores involucrados en el desarrollo de una edificación, de la misma forma, establecer directrices claras de comunicación y estándares que permitan la efectividad de la colaboración dentro de un entorno común de trabajo. De esta manera es posible garantizar que todos los miembros del equipo trabajen bajo la misma fuente de datos y la versión actualizada del proyecto, para así evaluar con mayor facilidad las diferentes propuestas que puedan surgir del diseño, eliminar los procesos intermediarios y redundantes que comúnmente suelen darse en los procesos creativos, generando sobre costos, reprocesos y demás.

Si bien el uso de la metodología BIM promete subsanar las dificultades mencionadas a través de la integración de los actores en un ambiente virtual de trabajo y la unificación de la información en un modelo digital, aún los métodos comunicativos y los objetivos de la metodología suele desvirtuarse, pues el uso de las masivas fuentes tecnológicas que están al alcance inmediato de cada actor involucrado lleva a generar caos en la comunicación; la implementación de BIM en el país como metodología colaborativa presenta dificultades que deben ser atendidas, las compañías que hace uso de BIM se empeñan en producir modelos tridimensionales pero la información tiende a gestionarse bajo procesos tradicionales, lo cual se da por la ausencia de protocolos comunicativos de intercambio de información.

Por lo anterior, los métodos de comunicación en BIM deben de definirse de manera contractual y deben establecer claramente el cómo se va a transmitir y comunicar la información con los involucrados en el proyecto. Un instrumento importante que puede mejorar estas deficiencias es el “Plan de Ejecución BIM” o el BEP como bien se le conoce, pues como se mencionó en el subcapítulo 2.3.2, la categorización de los niveles de detalle de la información que estén contenidos en el BEP es una manera de anticipar los problemas de interoperabilidad que puedan surgir en el desarrollo de proyectos en BIM.

En ese sentido, el documento debe ser explícito en relación a los procesos comunicativos y no enfocar su contenido únicamente en el cómo desarrollar los modelos para cumplir los objetivos propuestos, sino, ser enfático en relación a los procesos colaborativos, lo cual puede ser desarrollado de manera explícita en un capítulo del documento. El citado apartado debe de contener los roles de cada una de las disciplinas involucradas, los alcances en el desarrollo de los modelos y las responsabilidades propias de cada

especialidad, así como definir los entregables, medios de comunicación, mapas de procesos, entre otros aspectos.

Dicho de otra forma, el BEP debe ser el espacio que establezca los lineamientos del trabajo colaborativo para no permitir por ningún motivo la libre intención o la buena disposición del profesional que esté involucrado en el proceso. Esto es lo que ayudaría a mejorar los procesos de comunicación en el uso de BIM.

**Quinto: En BIM, la adopción del concepto OpenBIM es el camino a seguir para mejorar los procesos de interoperabilidad tecnológica durante el flujo de trabajo en la etapa de diseño, lo que en efecto mejoraría la eficiencia y productividad en la industria de la construcción.**

La capacidad de comunicar la información producida entre una compañía y la otra desde las plataformas tecnológicas empleadas, es precisamente lo que permitiría aumentar la innovación en la industria, así mismo, la eficiencia de un proyecto de edificación, los cual contribuye, entre otras cosas, al desarrollo sostenible que tanto se viene buscando, y esto por medio del aumento de la planificación, mayores análisis de eficiencia energética, optimización de los recursos, rendimiento estructural, automatización de la información, el aumento de la precisión en la fase de fabricación y demás aspectos.

Por lo anterior, y a través de lo descrito a lo largo de la presente investigación se argumenta que el uso de BIM bajo procesos claros de comunicación enfocados a trabajar en un entorno abierto es el paso indicado para disminuir la falta de interoperabilidad en el campo de la construcción, aunque esto presente en la actualidad diferentes retos, entre conceptuales, tecnológicos y organizativos.

Así mismo, la industria necesita fomentar el uso de formatos abiertos para mejorar la interoperabilidad y la comunicación entre las organizaciones y/o profesionales que participan en el desarrollo de un proyecto, de tal modo que puedan compartir sin dificultades lo que producen independientemente de las soluciones tecnológicas que empleen para hacerlo, lo cual, en efecto aumentaría la eficiencia, disminuiría los esfuerzos entre las mismas organizaciones al no tener que hacer un “doble” trabajo, pues a partir de lo recibido se continuaría con el desarrollo de las actividades, y esto disminuye el tiempo de entrega.

**Sexto: Tener una reorganización empresarial basada en la implementación de métodos colaborativos como IPD y la adopción de OpenBIM que permite el uso formatos abiertos como medio de comunicación con otras disciplinas significa ahorros en términos financieros ya que asegura que la empresa pueda evitar sobrecostos, ineficiencia en la información y optimización en los procesos.**

Una reorganización empresarial enfocada a generar procesos colaborativos requiere replantear, incluso, la estructura organizacional de tal forma que permitan la integración, donde cada involucrado colabore de forma abierta según sus habilidades y su desempeño dentro del proyecto. Por lo cual, los modelos jerárquicos y piramidales deben cambiar, pues como bien se dijo en el subcapítulo 1.4.3, estos ya no son funcionales, se requieren cambios que fomenten el trabajo en equipo y la colaboración entre las partes.

Lo anterior y el aumento de la colaboración a partir de la implementación de un método como IPD, seguro llevará a obtener un mayor provecho de BIM y de los datos contenidos en los modelos, lo cual permitirá realizar cálculos energéticos, de costos, y demás análisis, de forma eficaz según el desafío del proyecto. Los usos de BIM serán enfocados en la metodología y no a un software particular de producción como actualmente se orientan, ya que las soluciones a las problemáticas de un proyecto en BIM llevan a buscar mejores medios tecnológicos que ayuden a optimizar los procesos. A partir de esto puede darse una interoperabilidad eficiente entre las herramientas a través del uso de formatos abiertos, lo cual traerá beneficios importantes para las compañías por todo lo que se ha mencionado a lo largo de la investigación: menores reprocesos, eficiencia en los flujos de trabajo y otros aspectos que favorecen económicamente el proyecto.

Los retos de la industria van avanzando, cada vez se presenta más la necesidad de interoperar en BIM dado al aumento de los datos que nutren los modelos, sin embargo, la necesidad es atendida a medida que se genere una masificación en el uso de BIM y se logre pasar de manera rápida la fase de generar únicamente modelos con fines de coordinación. A la industria y a los líderes de las organizaciones hay que incentivarlos y hacerles entender que la implementación de BIM en una empresa va más allá de generar modelos 3D o comparar licencias de software u otras plataformas tecnológicas. Se requiere de una estrategia de implementación en los procesos colaborativos que permitan avanzar hacia interoperabilidad y la adopción de OpenBIM

**Séptimo: Los problemas de interoperabilidad en BIM no recaen únicamente en el nivel de madurez del formato IFC, en su uso y desconocimiento, sino también en la falta de planes y estrategias por parte de las organizaciones en función de los métodos de colaboración y adopción tecnológica.**

A través del caso práctico se ha logrado determinar que el formato IFC es el archivo de intercambio de información que debe ser implementado y adoptado por todas las empresas del campo de la construcción, su aplicabilidad permite la comunicación tecnológica dentro del entorno BIM. Y aunque puedan existir limitaciones en su uso, el caso particular de estudio ha logrado constatar que el formato IFC versión 2x3 usado en

la etapa inicial de diseño de un proyecto desarrollado bajo la metodología BIM funciona sin mayores inconvenientes siempre y cuando se tenga claridad sobre la información que se debe transmitir del modelo BIM entre una especialidad y la otra, lo cual está sujeto a las necesidades propias de quien lo solicita o con quien se colabora.

Con lo anterior se generan aportes a un tema que en Colombia hoy es una realidad, y aunque en el país se suele trabajar en entornos cerrados, es decir, haciendo uso de herramientas tecnológicas BIM de una misma casa fabricante, de Autodesk en este caso, el uso OpenBIM ya es un hecho porque hay procesos que lo requieren, la empresa Doblamos es un claro ejemplo de esto ya que todo aquel que requiera en la actualidad involucrar a esta compañía en un flujo de trabajo BIM debe estar abierto a la colaboración y a la flexibilidad en términos de cambiar la forma de gestionar su información, pues los formatos abiertos son los que garantizarían la comunicación con el arquitecto, ingenieros MEP y demás actores involucrados en los procesos.

En definitiva, hoy el uso de BIM se sale de cualquier plus o valor agregado que una compañía quiera vender a su cliente, esto ya es un requerimiento, que, aunque se suela implementar alrededor del 40% de las edificaciones del país como lo mencionó Camacol (2020), se espera que para el año 2025 o 2026 ya sea una exigencia para los proyectos del sector público, por lo cual los medios de comunicación finalmente serán basados en modelos BIM.

En la misma línea se resalta el uso del formato IFC como estándar para la entrega de proyectos que se pretenden aprobar, prueba de ello es la expedición del decreto 0441 del 01 de septiembre de 2020 que pretende atender los trámites y procedimientos por medios electrónicos ante las curadurías urbanas y las entidades municipales o distritales competentes, encargadas del estudio, trámite y expedición de licencias urbanísticas de obra nueva, lo cual establece un desafío importante para la industria y es aquí donde la formación profesional debe girar en torno a estas nuevas necesidades.

La academia e instituciones universitarias también son llamadas a estimular el trabajo colaborativo y multidisciplinar. En los inicios de un pregrado es necesario involucrar y relacionar estudiantes de diferentes áreas del campo de la construcción, estudiantes de arquitectura, ingeniería civil, construcción y demás, necesitan participar en clases conjuntas, donde interactúen y se compartan conocimientos, lo cual ayudaría a entrelazar esas relaciones que son tan necesarias para llevar a cabo el diseño y construcción de una edificación actual, donde la calidad de lo que pueda aportar el profesional sea lo más importante sobre los softwares que se utilicen en el campo, esto ayudara a hacer una elección propia de las herramientas en función de sus necesidades que bien puede ser la de mayor venta del mercado siempre y cuando estas le respondan de manera efectiva.

Aunque en Colombia esto apenas inicie, en el mundo el tema de la interoperabilidad y de Open BIM viene con una fuerza muy importante, países desarrollados en el tema como Estados Unidos, Noruega, Finlandia, Dinamarca y los Países Bajos desde el 2008 han declarado la intención de apoyar el modelo de información bajo estándares abiertos, con el objetivo de impulsar el OpenBIM y mejorar los procesos de interoperabilidad entre las plataformas BIM, por lo cual se ha vuelto un requerimiento del estado. En ese sentido, en el país en años próximos la interoperabilidad bajo estándares abiertos y el uso de OpenBIM no va ser una opción si no que va a cobijar a todos los actores involucrados con la industria de la construcción y para ello el sector debe estar preparado.

## Discusiones

En la actualidad los procesos de interoperabilidad se han entendido como una problemática asociada exclusivamente al tema tecnológico y al uso de la herramienta. Sin embargo, a través de la investigación se logró determinar que el factor humano y comunicativo son esenciales para lograr una efectiva interoperabilidad entre las disciplinas involucradas en los procesos y en BIM particularmente.

En ese sentido, las dificultades asociadas a esta problemática no pueden recaer en el uso del formato IFC y en las limitaciones que actualmente puedan presentarse en la práctica como lo menciona Nieto et al. (2012). Pues como es bien sabido, el estándar desde su origen (1997) hasta la actualidad presenta 7 versiones: IFC 1, IFC 1.5, IFC 2.0, IFC 2x, IFC 2x2, IFC 2x3 y IFC 4, siendo este último una respuesta a los problemas de interoperabilidad en los proyectos de infraestructura. Por lo cual no puede ser posible que después de 24 años de desarrollo del formato apoyado por grandes asociaciones como *BuildingSMART* y exitosas compañías desarrolladoras de software como Autodesk, Bentley, Graphisoft, Trimble y demás, éste aún se considere inapropiado e insatisfactorio para lograr la transferencia de información entre las plataformas BIM.

La posición ante esto es que no se puede juzgar al formato sin antes conocer realmente cuales son las finalidades que va cumplir en un flujo de trabajo, ni conocer realmente cuales son los procesos alrededor de un proyecto, los roles que desempeña cada uno de los actores y su propósito con la información recibida, es decir, si las limitaciones en el uso se encuentra en la manipulación de los archivos recibidos porque no permiten la edición, es probable que para una persona u compañía que requiera continuar con el desarrollo del diseño a partir del modelo IFC recibido esa restricción seguro va generar fallas importantes e interrupciones en el proceso, pero si por el contrario el interesado en recibir el modelo IFC es un actor como el curador urbano, quien requiere solo visualizar la información para la verificación de aplicabilidad normativa y demás condiciones que deban ser evaluadas ante un trámite de radicación de licencia, con seguridad esa limitación por la falta de manipulación no va generar ninguna ruptura en el proceso, de hecho, va traer beneficios económicos importantes al proyecto y al medio ambiente por que no se va a requerir de un alto volumen de impresiones en papel para hacer dicho trámite. Y la curaduría o entidad pública no va a necesitar invertir en la compra de licencia

de cada uno del software con los que trabaja la gran masa de actores que participan en los procesos de diseño para hacer las revisiones pertinentes.

El estudio de caso enfocado a la interoperabilidad entre el diseño estructural y la arquitectura permite ver cómo la comunicación a través de IFC entre los software Revit y Tekla puede darse perfectamente en un momento inicial del diseño, donde el ingeniero estructural logra desarrollar sus labores a partir de lo emitido por el arquitecto, lo cual significa ahorros de tiempo no solo para la empresa desarrolladora de las estructuras sino también para el proyecto mismo, por la optimización de los tiempos y la entrega temprana de los diseños, la calidad de la información producida, etc.

Aunque el proceso presentado en el caso de estudio no mostró mayores dificultades en la interoperabilidad entre los software Revit y Tekla, no por eso se debe desconocer que OpenBIM aún presenta retos importantes, en especial en el uso técnico alrededor de IFC, pues muchas aplicaciones aún no se han certificado con *BuildingSMART* de acuerdo a la norma ISO 16739, y esto hace que los procesos de exportación e importación entre algunas herramientas no se logre a plenitud y se pierda información en el procesos, aun cuando se use la versión 2x3 considerada como la más estable en la actualidad. Razón por la cual en el subcapítulo 4.3.2 se hace un llamado a los fabricantes de software para mejorar sus aplicaciones en beneficio del trabajo colaborativo que tanto se desea.

Esa misma dificultad que existe alrededor del uso del formato, hace que se requiera de una inversión importante de costos y de tiempo para lograr afinar los procesos y las transformaciones que trae consigo la implementación de OpenBIM como estándar dentro de una compañía, esto unido al apoyo de los proveedores y desarrolladores de software quienes a través de sus conocimientos en la aplicación logren ayudar a identificar la configuración pertinente de exportación e importación de los modelos IFC desde sus herramientas nativas según sea el flujo de trabajo y las necesidades los actores con quien se colabora. Una vez las compañías líderes en estos temas, que serán las que mayor ventaja tengan en la implementación de BIM, reconozcan la eficiencia en el uso de este formato deberán trasladar su conocimiento y apoyar a las demás compañías que vienen en el camino para lograr una masificación del conocimiento y la pronta estandarización de OpenBIM.

En ese sentido, y según lo dicho, esta investigación avanza en reconocer las dificultades existentes en los flujos de trabajo dentro de la industria de la construcción, en establecer protocolos y metodologías que deben integrarse a BIM para lograr la interoperabilidad en el sector. Además, en reconocer que el BEP es aquel documento que debe acompañar esta transformación digital en las compañías del sector; en aquel documento

debe estar contenido y establecido los procesos de comunicación, incluso las versiones del formato IFC que se debe usar, así como dirigir los procesos interoperables de tal forma que evite la pérdida de información de los modelos IFC.

Bajo este contexto, se argumenta que, si esta serie de procesos se empiezan a implementar, además si en el campo de la construcción los equipos de trabajo evolucionan de tal forma que logren disminuir las dificultades de la comunicación y el trabajo colaborativo, se puede garantizar la disminución de los procesos en las tomas de decisiones de los proyectos lo cual generaría un impacto positivo en los tiempos de diseño y ahorros significativos en los costos intangibles del proyecto.

### **Futuras investigaciones**

Esta tesis se enfocó en la interoperabilidad en el entorno BIM entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería estructural por los argumentos expuestos en los inicios, sin embargo, dada la creciente demanda de actores que se deben involucrar al desarrollo de un proyecto de edificación contemporáneo, los requisitos normativos asociados a la sostenibilidad y la acelerada evolución de la metodología BIM en el país, es necesario evaluar la interoperabilidad centrada en otros ámbitos disciplinares: Geografía espacial, MEP, bioclimática, entre otros, y de igual forma analizar los beneficios y las oportunidades que se pueden obtener al ingresar otras disciplinas al desarrollo del proyecto bajo la implementación del concepto OpenBIM. De esa forma poder aportar, junto la presente investigación al desarrollo de un proyecto de forma integrada y sin exclusiones, totalmente transparente en el uso de las herramientas.

Así mismo, la interoperabilidad también debe ser evaluada en otras fases del proyecto, como en la construcción y el mantenimiento, y resultaría interesante desarrollar un proyecto de evaluación en el cual se integrarán los modelos de todas las disciplinas participantes, este análisis a una escala mayor podría dejar un panorama más claro en el comportamiento del formato interoperable IFC promovido por el concepto OpenBIM eficiencia.

En definitiva, aún hay mucho por investigar en relación a la interoperabilidad en el entorno BIM particularmente en Colombia, pero con certeza el aporte de esta investigación en ruta el camino hacia una mayor eficiencia en el campo de la construcción a partir de la adopción de nuevas herramientas tecnológicas y de la implementación del concepto OpenBIM.

## Referencias

- AIA California Council. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide. En *American Institute of Architects*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Angarita, S. (2020). *Estimación de costos en BIM* [Comunicación personal].
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S., Khalfan, M., y Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15–28. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>
- Bahar, Y., Pere, C., Landrieu, J., y Nicolle, C. (2013). A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform. *Buildings*, 3(2), 380–398. <https://doi.org/10.3390/buildings3020380>
- Barreto, A. F. (2020). *El BIM en la interventoría de proyectos: aportes para la reducción de sobrecostos y reprocesos desde la etapa de diseño* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional, Medellín, Colombia.
- Bello, F. O., y Pèrez, J. N. (2012). Interoperabilidad entre los dominios de la arquitectura, la ingeniería y la construcción y los sistemas de información geográfica. *Ingeniería y Universidad*, 16(1), 183-200. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47723297011>
- Bernstein, P. (2006). *BIM Adoption: Finding Patterns for a New Paradigm* [Mensaje en un blog]. Recuperado de [https://www.di.net/articles/bim\\_adoption\\_finding\\_patterns\\_for/](https://www.di.net/articles/bim_adoption_finding_patterns_for/)
- Blanco, F., y Muñoz, S. (2018). Interoperabilidad en el uso de la metodología BIM. *Revista de Obras Públicas*, 36-43. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6882408>
- Botero, L. F., Isaza, J. A., y Vázquez, A. (2015). Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015. *Sibragec Elagec*, 1, 494-502. Recuperado de <https://docplayer.es/8512831-Estado-de-la-practica-del-bim-colombia-2015.html>
- Bouzas, M. (2013). *Abramos la caja de herramientas BIM (y II)* [Mensaje en un blog]. easyBIM; Recuperado de <https://manuelbouzas.wordpress.com/2013/10/10/abramos-la-caja-de-herramientas-bim-y-ii/>
- Bruce, R. (2018). *Equipos extremos: Por que Pixar, AirBNB y otras empresas de vanguardia*

- triunfan donde la mayoría fracasan*. Bogotá, Colombia: Planeta Colombiana S.A.
- BuildingSMART International. (2020a). *Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction*. Recuperado de <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>
- BuildingSMART International. (2020b). *What is openBIM?* Recuperado de <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- BuildingSMART Spain. (2020). *Guía BIM para propietarios y gestores de activos* (Vol. 02). Recuperado de <https://www.buildingsmart.es>
- BuildingSMART Spanish Chapter. (2014). uBIM 01-Parte General. *Building Smart*, 48. <https://www.buildingsmart.es/recursos/guías-ubim/>
- Cabellos, M., y Gallego, L. (2019, enero 29). *Interoperabilidad o cómo conectar organizaciones* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://blog.everis.com/es/blog/negocio/interoperabilidad-o-cómo-conectar-organizaciones>
- Camacol. (2020). *Transformación digital para impulsar el sector de la construcción*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Zdk8AkYr6II>
- Camara de Comercio de Medellin para Antioquia. (2018). *Adopción metodológica BIM Antioquia Resultados fase 1 estado del arte*. Recuperado de [https://www.camaramedellin.com.co/Portals/0/Cluster-CCMA/Comunidad-Cluster/Cluster-Habitat-Sostenible/Documentos/Resultados\\_Etapa\\_1\\_adopción\\_metodologica\\_BIM\\_Antioquia.pdf](https://www.camaramedellin.com.co/Portals/0/Cluster-CCMA/Comunidad-Cluster/Cluster-Habitat-Sostenible/Documentos/Resultados_Etapa_1_adopción_metodologica_BIM_Antioquia.pdf)
- Carbonell, C., Martín-Dorta, N., Saorín, J., y Cantero, J. D. L. T. (2015). *BIMNotes: influencia de las anotaciones de modelos 3D en entornos BIM* (EUBIM 2015 Congreso Internacional BIM (ed.); Número May, pp. 54–62). <https://goo.gl/uJXA26>
- Cardona, M. A. Q. (2017). *Propuesta para la implementación del IPD (Integrated project delivery) en la construcción de proyectos de infraestructura pública en Colombia*. [Tesis maestría]. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Cardoso, D. (2012). Esclavos perfectos: historia breve de la ciberarquitectura en MIT (1959-1967). *Dearq. Revista de Arquitectura*, 10, 48–59. <https://doi.org/10.18389/dearq10.2012.07>
- Casellas, T. (2018, julio 4). *Qué es COBie* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.msistudio.com/que-es-cobie/>
- Chiou, Y. (1998). *An Interoperable Integrated Project Management System for Architecture, Engineering and Construction Product and Process Information* [Master Thesis]. MIT, Cambridge, MA.
- Ciribini, A. L. C., Ventura, S. M., y Paneroni, M. (2016). Automation in Construction Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building : A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>
- Coloma, E. (2008). Introducción a la tecnología BIM. *Departament d'Expressió Gráfica Arquitectónica I Seccó Geometria Descriptiva*, 1-40. Recuperado de

[http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/Introducción a la Tecnología BIM.pdf](http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/Introducción%20a%20la%20Tecnología%20BIM.pdf)

Coloma, E., Ayats, C., Miquel, S., Molas, I., y Pui, P. (2019). La parte humana del bim: tres estudios de caso. *Journal of BIM and Construction Management*, 1, 1-13. Recuperado de <https://journalbim.org/index.php/jb/article/view/6>

Costa, G., Jardín, A., y Jesús, V. (2015). Mejoras para la automatización de procesos en la importación de modelos en IFC. *Spanish journal of BIM*, 15, 10-18. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/>

Cubillos, R. (2010). Sistema de gestión de información de proyectos de vivienda social: (SGIPVIS). *Revista de arquitectura*, 12(12), 88-99. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14960>

Davis, D. (2013, agosto 6). *A History of Parametric* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>

Delgado, D. (2019). Exportar e importar ficheros IFC. Mejores prácticas. En BuildingSMART Spain (Ed.), *BIM experience* (p. 52). Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/recursos/>

Díaz, J. (2020). *La interoperabilidad en el flujo de trabajo de las estructuras metálicas en Colombia* [Comunicación personal].

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., y Liston, K. (2011). *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. <https://doi.org/10.1093/nq/s7-11.32.110-e>

Edum, F. T., Thorpe, A., y McCaffer, R. (2001). Information procurement practices of key actors in construction supply chains. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(3), 155–164. [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00024-1)

Expansión. (2016, enero 26). *Transformación digital: un desafío de personas, no de tecnología*. Expansión economía digital; Recuperado de <https://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2016/01/26/56a66b39e2704e844f8b46a2.html>

Fernandez, L., López, J., Martín, F., Alonso, C., y Oteiza, I. (2019). Interoperabilidad entre BIM con Revit2015 y BPS con Designbuilder. Estudio de caso en una edificación existente. *BUILDING y MANAGEMENT*, 3(2), 34–47. <https://doi.org/10.20868/bma.2019.2.3922>

Fitzgerald, D. (2018, mayo 3). Architecture Vs. Engineering: Solutions for Harmonious Collaboration. *Redshift by Autodesk*, Recuperado de <https://www.autodesk.com/redshift/architecture-vs-engineering/>

Floréz, G. (2018, agosto 24). El 40 por ciento de las construcciones del país usa tecnología BIM. *EL TIEMPO*, Recuperado de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/el-40-por-ciento-de-las-construcciones-del-pais-usa-tecnologia-bim-259706>

Flórez, M. V., y García, C. L. (2018). *Propuesta de un estándar para implementar la metodología bim en obras de edificación financiadas con recursos públicos en Colombia* [Tesis de

- maestría]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Forero, A. A., Gutierrez-Bucheli, L. A., y Ponz-Tienda, J. L. (2019). Bim Para El Mantenimiento: Más Planeación Menos Sobrecostos. *Journal Bim y Construction Management*, 1(1), 10-20. Recuperado de <https://journalbim.org/index.php/jb/article/view/5>
- Froese, T. M. (2010). The impact of emerging information technology on project management for construction. *Automation in Construction*, 19(5), 531–538. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.004>
- Gámez, F. C., Severino, M. S., y Márquez, R. J. G. (2014). Introducción a la metodología bim. *Spanish Journal of Building Information Modelling*, 4-10. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/284159764\\_INTRODUCCION\\_A\\_LA\\_METODOLOGIA\\_BIM](https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM)
- Garrido, S., y Muñoz, S. (2016, diciembre 14). *¿Que es el FIDE?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://fide.org.es/>
- Gea, M. (2015). Open BIM : Los archivos IFC en la gestión de la obra de la Ciudad de la Justicia de Córdoba ( España ). *Spanish journal of BIM*, 15–02, 20-34. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5501134>
- Ghaffarianhosein, A., Tookey, J., Ghaffarianhosein, A., Naismith, N., Azhar, S., Olia, E., y Raahemifar, K. (2016). Building Information Modelling ( BIM ) uptake : Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Gómez, J. M., Rojas, J. S., y Aibinu, A. A. (2016). The Status of BIM Adoption and Implementation Experiences of Construction Companies in Colombia. *VII Elagec*, llevado a cabo en la ciudad de Bogotá, Colombia.
- González, H. (2009). Interoperabilidad entre los sistemas informáticos. *VI Encuentro Internacional de Contabilidad, Auditoría y Finanzas*, llevado a cabo en la ciudad de La Habana, Cuba.
- González, L. F. (2014). El impacto del desarrollo tecnológico en la arquitectura. *Academia*, 1-21. Recuperado de [https://www.academia.edu/28076968/El\\_Impacto\\_Del\\_Desarrollo\\_Tecnológico\\_en\\_La\\_Arquitectura](https://www.academia.edu/28076968/El_Impacto_Del_Desarrollo_Tecnológico_en_La_Arquitectura)
- Grilo, A., y Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 19(5), 522–530. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>
- Guerra, I. (2019). *Criticando el IFC* [Audio podcast]. Recuperado de <https://bimlevel.com/041-criticando-el-ifc/>
- Hamil, S. (2018, octubre 29). *¿Que es COBie?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie>
- Herrera, P. (2010). Tecnologías disruptivas: programación y fabricación en Latinoamérica. *XIV Congreso de la Sociedad de Gráfica Digital (SiGraDi)*, Bogotá, Colombia, 213–216. <http://papers.cumincad.org/cgi->

bin/works/Show?\_id=sigradi2010\_213ysort=DEFAULTysearch=pablo c. herrera y hits=766

- Hoezen, M., Reymen, I., y Dewulf, G. P. M. . (2006). The problem of communication in construction. *Proceedings of the CIB W06 Adaptable Conference*, 4.
- Instituto Valenciano de competitividad empresarial. (2016). *Proyecto : Building information modelling . Biblioteca de sistemas cerámicos Paquete de Trabajo 3 : Estándares actuales Entregable E3 Estándares*. Recuperado de <https://docplayer.es/72531951-Proyecto-building-information-modelling-biblioteca-de-sistemas-ceramicos-paquete-de-trabajo-3-estandares-actuales-entregable-e3-estandares.html>
- Isikdag, U., y Underwood, J. (2010). Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration. *Automation in Construction*, 19(5), 544–553. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.006>
- Jiménez, P., y Muñoz, S. (2018). Edición del fichero IFC para enriquecer y explotar la información. *Spanish Journal of BIM*, 1, 44-53. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756242>
- Juan, D., y Zheng, Q. (2014). Cloud and Open BIM-Based Building Information Interoperability Research. *Journal of Service Science and Management*, 07(02), 47–56. <https://doi.org/10.4236/jssm.2014.72005>
- Knox, K. (2016, mayo 24). *Is interoperability critical for the construction industry?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.barbourproductsearch.info/is-interoperability-critical-for-the-construction-blog000246.html>
- Laakso, M., y Kiviniemi, A. (2012). The IFC standard - A review of history, development, and standardization. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 17(May), 134-161. Recuperado de <http://www.itcon.org/2012/9>
- Latiffi, A. A., Brahim, J., y Fathi, M. S. (2014). The development of building information modeling (BIM) definition. *Applied Mechanics and Materials*, 567, 625–630. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625>
- Lee, Y., Solihin, W., y Eastman, C. M. (2019). The Mechanism and Challenges of Validating a Building Information Model regarding data exchange standards. *Automation in Construction*, 100(December 2018), 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.025>
- Lobos, D., Wandersleben, G., y Castillo, L. S. (2014). Mapeo de Interoperabilidad entre BIM y BPS Software (Simulación Energética) para Chile. *Blucher Design Proceedings*, 1(7), 378–382. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2013-0072>
- López, A. (2016, mayo). Una (r)evolución llamada BIM. *Revista técnica CEMENTO HORMIGÓN*, 52-55. Recuperada de. <http://www.cemento-hormigon.com/Articulos/Articulo?id=1450>
- Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., y Li, H. (2013). Generic model for measuring benefits of BIM as a learning tool in construction tasks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(2), 195–203. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000585](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000585)

- Martin, N., GonzalesdeChaves, P., y Roldan, M. (2014). Building Information Modeling (BIM): Una oportunidad para transformar la industria de la construcción. *Spanish journal of BIM*, 14-01(14), 14-18. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/>
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., y Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767-774. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2020). *Resolución número (0141) 01 SEP 2020* (Número 7). Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/normativa-agua/decretos>
- Mortice, Z. (2019, octubre 2). *Real-Time Tech Goes Beyond AR and VR for Smarter Models, Better Building Design* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.autodesk.com/redshift/vr-building-design/>
- Moum, A. (2010). Design team stories: Exploring interdisciplinary use of 3D object models in practice. *Automation in Construction*, 19(5), 554-569. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.007>
- Mourshed, M. (2006). *Interoperability based Optimisation of Architectural Design* [Tesis de maestría]. National University of Ireland, Cork, Ireland.
- Nieto, J. E., Marín, J. D., Rico, F., y Moyano, J. J. (2012). La interoperabilidad del modelo virtual de información [Ponencia]. *XI Congreso internacional de expresión gráfica aplicada a la edificación.*, Valencia, España. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/39442>
- Ocampo, J. G. (2015). La gerencia BIM como sistema de gestión para proyectos de construcción. *Gerencia Tecnológica Informática*, 14(38), 17-29. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/gerencia-tecnologica-informatica/articulo/la-gerencia-bim-como-sistema-de-gestion-para-proyectos-de-construccion>
- Palacios, V. (2006). *Colaboración organizacional: Características y tipología* [Tesis de pregrado]. Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa división CSH, México, DF.
- Pardo, L. (2018). *Las tecnologías emergentes marcarán el futuro de la construcción* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.alimarket.es/construccion/noticia/271889/las-tecnologias-emergentes-marcaran-el-futuro-de-la-construccion>
- Pazlar, T., y Turk, Ž. (2008). Interoperability in practice: Geometric data exchange using the IFC standard. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13, 362-380. Recuperado de <https://www.itcon.org/paper/2008/24>
- Pérez de Lama Halcón, J., Olmo Bordallo, J. J., Sánchez-Laulhé Sánchez de Cos, J. M., y Gutiérrez de Rueda García, M. (2012). Incorporación del diseño y fabricación digital a la arquitectura: docencia y práctica profesional. *4IAU 4ª Jornadas Internacionales sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Valencia, 2011*, Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5009592>
- Pittman, J. (2018, septiembre 11). Reimaginando el futuro de la fabricación: la automatización ayuda a las personas a vivir y trabajar mejor. *Redshift by Autodesk*, Recuperado de <https://www.autodesk.com/redshift/future-of-automation/>

- Porwal, A., y Hewage, K. N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004>
- Posada, F. (2020). *Niveles de interoperabilidad* [Comunicación personal].
- Posada, H. (2020). *Diagnostico empresa caso de estudio* [Comunicación personal].
- Pour, F., Chavdarova, V., Oliver, S., y Chamo, F. (2019). OpenBIM-Tango integrated virtual showroom for offsite manufactured production of self-build housing. *Automation in Construction*, 102, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.009>
- Prada, A., Ospina, A., Vargas, H., y Ponz, J. L. (2017). Interoperabilidad de la Modelación Energética de Edificaciones (BEM) con el Modelado de Información de Construcción (BIM): Experiencia con el diseño de un edificio de oficinas en Colombia. *Séneca Repositorio institucional*, Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/12753>
- Prieto, A. P., y Reyes, A. M. (2014). BIM como paradigma de la modernización del flujo de trabajo en el sector de la construcción. *Spanish journal of BIM*, 15–02(15), 36-45. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/>
- Ramírez Sáenz, J. A., Gómez Sánchez, J. M., Ponz Tienda, J. L., Romero Cortés, J. P., y Gutiérrez Bucheli, L. (2018). Requirements for a BIM execution plan (BEP): a proposal for application in Colombia. *Building y Management*, 2(2), 5–14. <https://doi.org/10.20868/bma.2018.2.3763>
- Ramon, J. G., Gámez, F. C., Severino, M. S., y Márquez, R. J. (2014). Introducción a la metodología BIM. En *Spanish Journal of Building Information Modeling*. <https://www.researchgate.net/publication/284159764>
- Ren, R., Zhang, J., y Dib, H. N. (2018). BIM interoperability for structure analysis. *Construction Research Congress 2018*, 470–479. <https://doi.org/10.1061/9780784481264.046>
- Rezgui, Y., Beach, T., y Rana, O. (2013). A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 239–258. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.760480>
- Rojas, O., y Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 7–15. <https://doi.org/10.15381/idata.v9i1.5709>
- Rokoei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 210, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>
- Sabol, L. (2008). Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling. *The power of process in the built environment*, 1-16. Recuperado de [https://www.academia.edu/3879014/2\\_sabol\\_cost\\_estimating](https://www.academia.edu/3879014/2_sabol_cost_estimating)
- Sacks, R., Kaner, I., Eastman, C. M., y Jeong, Y. S. (2010). The Rosewood experiment -

- Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. *Automation in Construction*, 19(4), 419–432. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.012>
- Sainz, J., y Valderrama, F. (1992). *Infografía y Arquitectura*. Recuperado de [https://www.academia.edu/download/52429009/1992\\_\\_Infografia\\_y\\_arquitectura\\_\\_Completo\\_optimizado.pdf](https://www.academia.edu/download/52429009/1992__Infografia_y_arquitectura__Completo_optimizado.pdf)
- Sánchez, H., García, A., y Soler, M. J. (2014). Aplicación de las metodologías ágiles en la gestión BIM de proyectos de construcción en entornos inestables. *Spanish journal of BIM*, 14(1), 30–38. <https://doi.org/2386-5784>
- Sandoval, R. (2016). *Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional, Medellín, Colombia.
- Senaratne, S., y Ruwanpura, M. (2016). Communication in construction: a management perspective through case studies in Sri Lanka. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(1), 3–18. <https://doi.org/10.1080/17452007.2015.1056721>
- Severino, M. S., Armiñana, E. P., y Perez, M. A. A. (2017). Los metodos colaborativos (Integrated Project Delivery), Una metodologia Lean Construction que mejora el proceso constructivo. *CITE 2017 Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación*, Madrid, España.
- Shang, Z., y Shen, Z. (2014). Critical Success Factors (CSFs) of BIM Implementation for Collaboration based on System Analysis. *Computing in Civil and Building Engineering*, 3, 1441-1448. Recuperado de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413616.179>
- Stapleton, K. A. J., Gledson, B. J., y Alwan, Z. (2014). Understanding technological interoperability through observations of data leakage in Building Information Modelling (BIM) based transactions. *Proceedings of the 32nd eCAADe Conference*, 2, 515–524. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3882.5849>
- Steel, J., Drogemuller, R., y Toth, B. (2012). Model interoperability in building information modelling. *Software and Systems Modeling*, 11(1), 99–109. <https://doi.org/10.1007/s10270-010-0178-4>
- Streule, T., Miserini, N., Bartlomé, O., Klippel, M., y García, B. (2016). Implementation of Scrum in the Construction Industry. *Procedia Engineering*, 164, 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.619>
- Tchouanguem, J. F., Karray, M. H., Foguem, B., Magniont, C., y Abanda, F. H. (2019). Interoperability Challenges in Building Information Modelling (BIM). *Enterprise Interoperability VIII, Proceedings of the I-ESA Conferences* 9, 275–281. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13693-2>
- Trujillo, T. (2020). *La interoperabilidad en los costos* [Comunicación personal].
- Trujillo, T., y Echeverri, V. (2020, mayo 29). *EL mejor remedio para la incertidumbre en su proyecto inmobiliario y/o de construcción*. Mercadeo AIA; Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=dfi\\_NpnQTKlyfeature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=dfi_NpnQTKlyfeature=youtu.be)
- Vela, L. A. (2016). *Metodología para la coordinación de diseños técnicos en proyectos de construcción para vivienda de mediana complejidad en Bogotá apoyado en medios*

*digitales* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

- Vera, S. (2016). Integración de las tecnologías BIM y GIS en el nuevo paradigma urbano de las SmartCities. Un modelo de información multiescala. *Fundación arquia*, 1-20. Recuperado de <http://fundacion.arquia.es/es/concursos/otrosconcursos/investigacion/Participacion/FichaProyecto?idparticipacion=324>
- Won, J., y Lee, G. (2010). Identifying the consideration factors for successful BIM projects. *the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Nottingham, Inglaterra.
- Xie, C., Wu, D., Luo, J., y Hu, X. (2010). A case study of multi-team communications in construction design under supply chain partnering. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 363–370. <https://doi.org/10.1108/13598541011068279>
- Xue, X., Shen, Q., y Ren, Z. (2010). Critical review of collaborative working in construction projects: Business environment and human behaviors. *Journal of Management in Engineering*, 26(4), 196–208. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000025](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000025)
- Yousefzadeh, S., Spillane, J. P., Lamont, L., McFadden, J., y Lim, J. P. B. (2015). Building Information Modelling (BIM) software interoperability: A review of the construction sector. *Proceedings of the 31st Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2015*, Lincoln, UK.
- Zapata, P. (2017). La Propuesta de BIM y la Colaboración. *BIM Forum Chile*, 2, 1-4. Recuperado de [http://www.bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/BIM-Forum-Chile-\\_Propuesta-BIM-y-Colaboración\\_2017.pdf](http://www.bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/BIM-Forum-Chile-_Propuesta-BIM-y-Colaboración_2017.pdf)
- Zhang, C., Beetz, J., y Weise, M. (2015). Interoperable validation for IFC building models using open standards. *Journal of Information Technology in Construction*, 20, 24–39. <https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-213541>

# Anexos

## Anexo 1: Encuestas

Con el fin de indagar lo en las dificultades relacionada a la interoperabilidad en el entorno BIM, fue necesario diseñar y desarrollar una encuesta a nivel local, con la intención de aportar sobre problemática planteada en la presente investigación.

Dicha encuesta tiene como finalidad identificar la manera en que los diferentes profesionales involucrados en el desarrollo de un proyecto de construcción intercambian información en un entorno de trabajo BIM. Además, determinar el grado de conocimiento y uso que se tiene actualmente de formatos abiertos como estándares de comunicación entre los diferentes profesionales en un entorno de trabajo colaborativo. Así como, identificar los factores que limitan la interoperabilidad en la actualidad.

El desarrollo de la encuesta se realizó bajo la plataforma Google Forms. Se difundieron 112 formularios por medio de correo electrónico a los diferentes profesionales y empresas constructoras del Valle de Aburra que implementan BIM como metodología de trabajo en sus actividades laborales. Estas fueron identificadas por medio de entidades o asociaciones encargadas de difundir el tema en el entorno local, como lo son BIM Forum Colombia y ASOBIM.

Dentro de las empresas más destacadas a nivel local y a las que fueron enviadas las encuestas, se encuentran:

- AIA Arquitectos Ingenieros Asociados
- Arquitectura y concreto (AyC)
- Constructora Conconcreto
- Empresa de desarrollo Urbano (EDU)
- Coninza Ramon H
- Bienes y Bienes
- EPM
- Doblamos S.A
- José Tobar y CIA.
- Constructora Capital

Finalmente fueron recibidas 54 respuestas, es decir, el 48.2% de los encuestados diligenciaron completamente el formulario, de 28 preguntas, tanto de selección única como múltiple y respuestas abiertas, divididas en 3 secciones de acuerdo con el tema de interés. La primera sección busca caracterizar a los encuestados (preguntas de la 1 a la 3), la segunda pretende identificar los conocimientos y uso de la metodología BIM de los participantes (preguntas de la 4 a 15) y posteriormente de la pregunta 16 a la 28 se indaga sobre los procesos colaborativos y la gestión de información de proyectos desarrollados bajo la metodología BIM a nivel local.

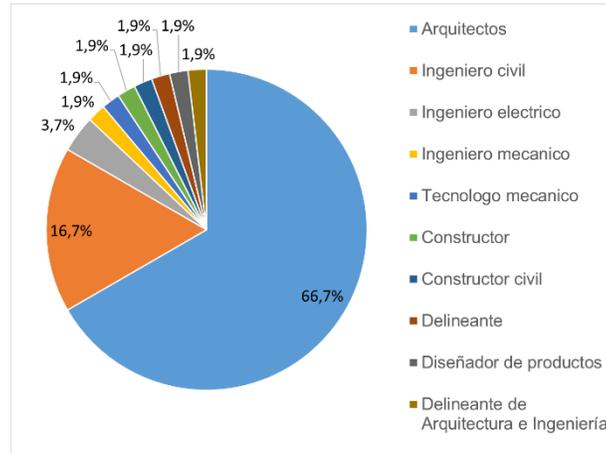
### **Caracterización del encuestado**

La información personal referente al perfil profesional permite caracterizar al encuestado en relación a su profesión, ocupación laboral actual y su experiencia dentro del campo de la construcción. De acuerdo a la imagen 96, en este estudio se dio una mayor participación de los arquitectos (66.7%), y son quienes representan en los resultados la profesión con mayor adopción de la metodología BIM en el Valle de Aburra, seguido los ingenieros civiles con un 16.7%, los que también marcan mayores diferencias sobre otras especialidades como ingenieros eléctricos, hidrosanitarios, mecánicos, constructores, diseñadores de productos y demás.

Consecuentes con la alta participación de la disciplina de arquitectura, la actividad laboral que define la mayor ocupación de los encuestados es el diseño arquitectónico con un 50% (imagen 97). Los profesionales restantes pertenecientes a esta área (16.7%) realizan otras actividades como diseño urbano, paisajismo, bioclimático, u otras labores ajenas a las anteriores, y algunos de manera simultánea, es decir el diseñador arquitectónico también es el diseñador urbano, paisajista o está enfocado a otras actividades administrativas como estructuración de proyectos, gerencia y demás.

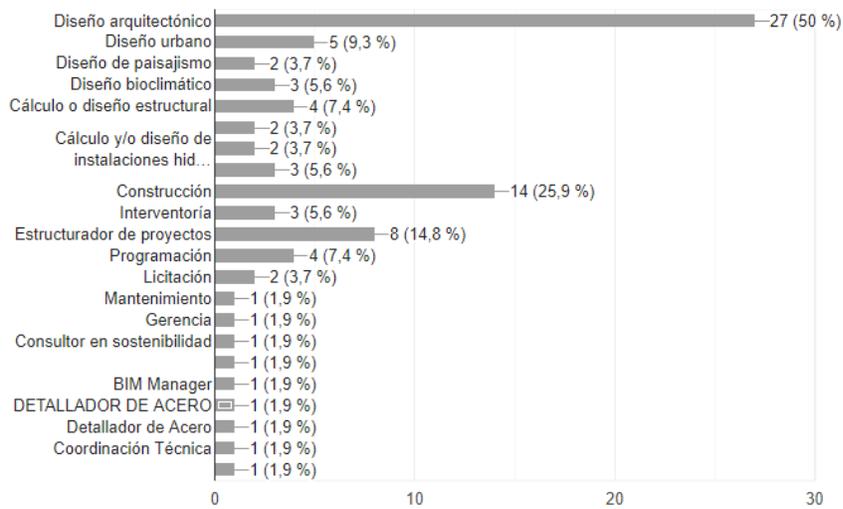
Esta misma situación ocurre también con algunos ingenieros civiles, el 7.4 % se dedican al cálculo o diseño estructural, los demás profesionales de esta área (9.3%) realizan otras actividades como la construcción, interventoría, programación de proyectos, etc. Pues las formaciones de las dos profesiones mencionadas anteriormente les permiten abarcar de manera global diversas labores enfocadas al proyecto de construcción, lo que no ocurre con otras disciplinas como ingenieros eléctricos, hidrosanitarios y mecánicos, los cuales aportan puntualmente sus conocimientos solo en ciertas fases del proyecto.

Imagen 96: ¿Profesión? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

Imagen 97: De las siguientes actividades ¿Cuáles definen su ocupación laboral? Selección múltiple

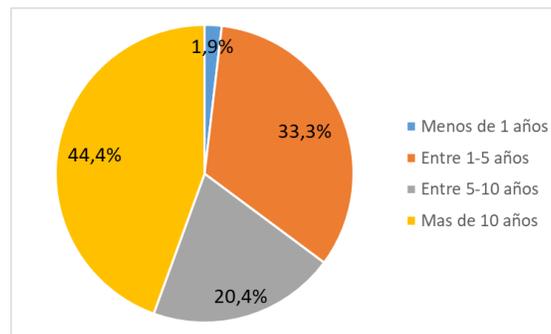


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

Ahora, si bien un modelo de información puede referirse a una “copia virtual” de lo construido. La experiencia laboral de cada una de las disciplinas involucradas en el desarrollo de un proyecto juega un papel fundamental, en especial de aquellos profesionales que tienen un mayor grado de responsabilidad frente a lo construido, como puede ser el arquitecto, ingeniero civil y el constructor. Estos requieren un alto nivel de conocimiento en procesos constructivos para dar soluciones de manera anticipada a los inconvenientes previstos.

La encuesta evidencia un porcentaje del 44,4% de personas que cuentan con más de 10 años de experiencia laboral (imagen 98) y que en sus prácticas actuales implementan BIM como metodología de trabajo para el desarrollo de sus actividades, lo que es significativo y realmente importante ya que de esa experiencia se nutre un modelo BIM y aporta un mayor grado de confiabilidad sobre la información y la integridad del mismo.

*Imagen 98: ¿Experiencia laboral? Selección única*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Personas con poca experiencia laboral también representan un alto porcentaje dentro de la encuesta. De acuerdo a la imagen 98, el 1.9 % cuenta con un tiempo laborando menor a 1 año, mientras el 33.3 % representa al número de personas con experiencia, entre 1-5 años, es decir el 35.2% tiene menos de 5 años de experiencia laboral. Esa población encuestada podría considerarse como el capital humano joven o recién egresada que hace uso de BIM en sus prácticas actuales.

Lo anterior es consecuente con el apogeo y las necesidades que presenta el campo de la construcción hoy día, en cara a la introducción de nuevas metodologías y herramientas tecnológicas que optimicen los recursos y los tiempos de producción, sumado a la formación educativa que vienen recibiendo diversos estudiantes egresados en los programas de pregrados relacionados al campo de la construcción.

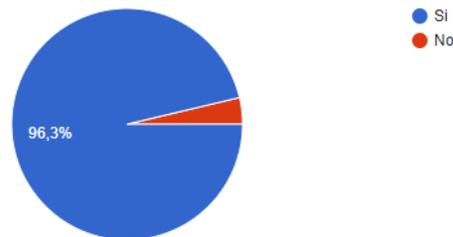
No obstante, muchos de los problemas asociados a las malas prácticas de modelado podrían asociarse a ese desconocimiento en los procesos constructivos y a la poca experiencia laboral en el campo de la construcción, que conllevan a producir modelos de información poco confiables. Ya que estas malas prácticas no podrían ser atribuidas únicamente a personas que no conozcan de estándares, protocolos de modelado, etc.

## Conocimientos y uso de la metodología BIM

La experiencia debe venir acompañada de la formación académica y se debe conjugar para poner en práctica una adecuada implementación de la metodología BIM. En el entorno local se evidencia un alto interés en recibir una formación en el tema, así lo refleja las respuestas del 96.3% de los encuestados (imagen 99). Aunque la educación en la metodología BIM se ha realizado de diversas maneras. El 59,6% es autodidacta y representa el mayor porcentaje de los participantes que han recibido una formación a través de tutoriales como pueden ser en YouTube u otro canal según sea el interés, el 44.2% ha tomado cursos cortos o básicos, mientras el 26.9% ha realizado cursos avanzados (imagen 100).

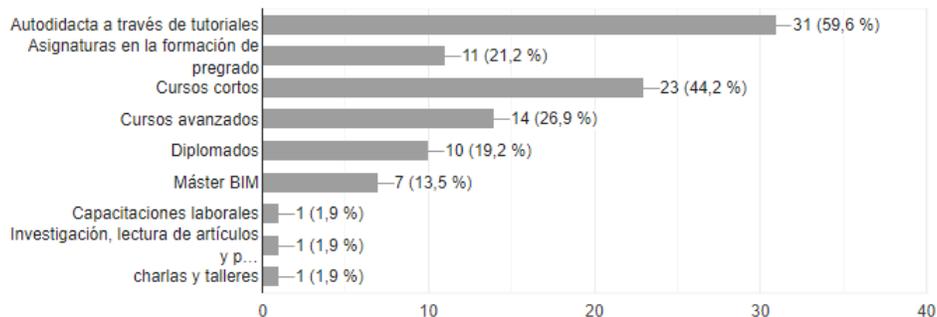
Otra fuente importante por cual se ha recibido formación en la metodología ha sido a través de clases desde la universidad, el 21.2 % manifiesta haber cursado asignaturas en su formación de pregrado, lo cual evidencia la permeabilidad que hay actualmente en la educación superior desde las universidades e institutos educativas en el entorno local.

Imagen 99: ¿Ha recibido formación en BIM? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia

Imagen 100: En caso de que sí. ¿Qué tipo de formación ha recibido? Selección múltiple

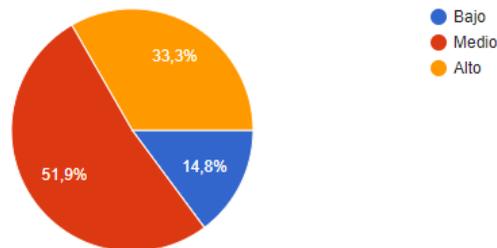


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia

Del nivel de formación en BIM, también se puede atribuir en cierto modo las buenas o malas prácticas en el desarrollo de un modelo de información y la gestión del mismo. No obstante, se evidencia una alta comprensión de las necesidades vigentes y las oportunidades que ofrece esta metodología frente a los problemas de la industria de la construcción, eso ha lleva a muchos de los encuestados a prepararse para responder de manera eficiente a las exigencias actuales.

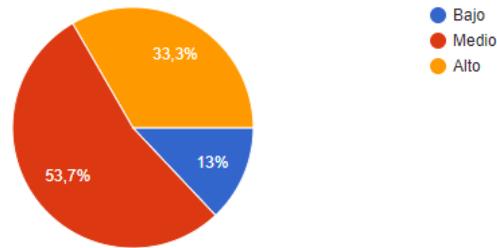
Y si bien un alto porcentaje dice haber recibido formación, no todos tiene el mismo grado de conocimiento en la metodología de trabajo, ni tampoco la mayor destreza en el uso de las herramientas. De acuerdo a imagen 101, el 51.9% de personas mencionan tener un nivel medio en el manejo de las herramientas BIM que usan en su desempeño laboral, lo que podría corresponder al 53.7% de las personas que dice tener el mismo nivel, aunque en el conocimiento de BIM como metodología de trabajo, tal como lo muestra la imagen 102. Lo anterior también podría atribuirse al tiempo de experiencia como usuario BIM, considerando que el mayor porcentaje 63% (imagen 103) dice tener entre 1 y 5 años de experiencia en el tema.

*Imagen 101: Identifique el nivel de manejo de las herramientas BIM que usa actualmente Selección única*



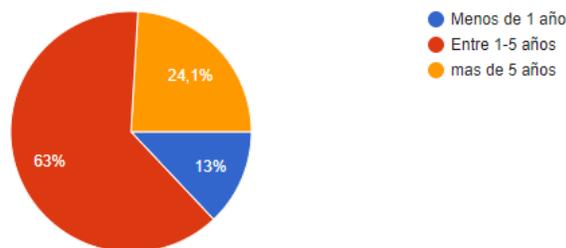
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Imagen 102: Identifique su nivel de conocimiento en BIM como metodología de trabajo Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

Imagen 103: ¿Tiempo de experiencia como usuario BIM? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

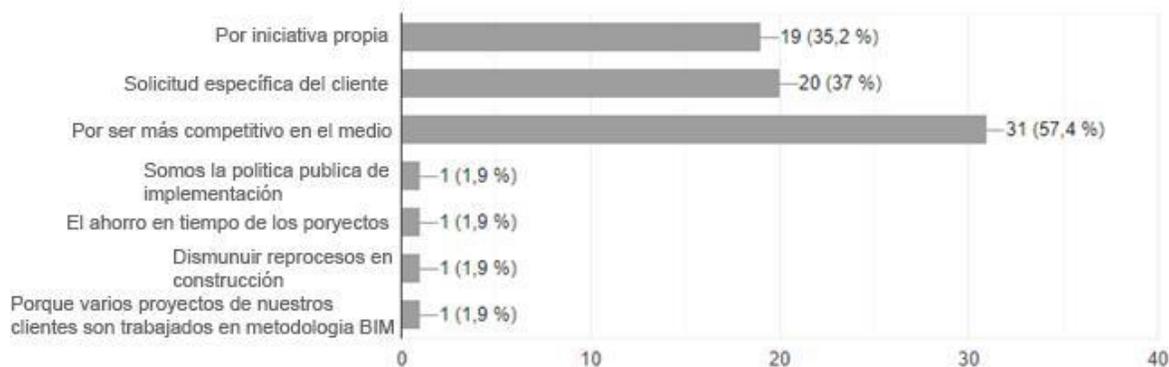
De lo anterior podría determinarse que el conocimiento en BIM y el uso de las herramientas depende en gran medida de la experiencia como usuario, ya que los resultados de estos tres temas son de algún modo proporcional. El 14.8% dice tener un nivel bajo en el uso de las herramientas y un porcentaje similar (13%) dice tener un nivel de conocimiento bajo en BIM como metodología de trabajo y con el mismo porcentaje de experiencia como usuario, la misma situación pasa con aquellos que dicen tener un nivel de conocimiento alto.

El nivel de implementación de BIM en el Valle de Aburra puede considerarse como medio-bajo en consideración a las respuestas previamente mencionadas, y que aproximadamente desde el año 2015 un gran número de personas se viene preparando en relación al tema.

Sin embargo, son diversos los motivos por los cuales los profesionales y compañías han implementado BIM en sus prácticas laborales. El 57.4% mencionan que han adopto BIM

para ser más competitivos en el medio (imagen 104), seguido del 37% de personas que afirman que esta metodología se les ha impuesto por solicitud específica del cliente y otro alto porcentaje lo han hecho por iniciativa propia (35.2%), y aunque otros mencionen otras razones, de cierto modo están relacionadas con las antes mencionadas.

*Imagen 104: ¿Cuál ha sido el principal motivo por el que usted o la compañía en la que labora actualmente ha implementado la metodología BIM? Selección múltiple*



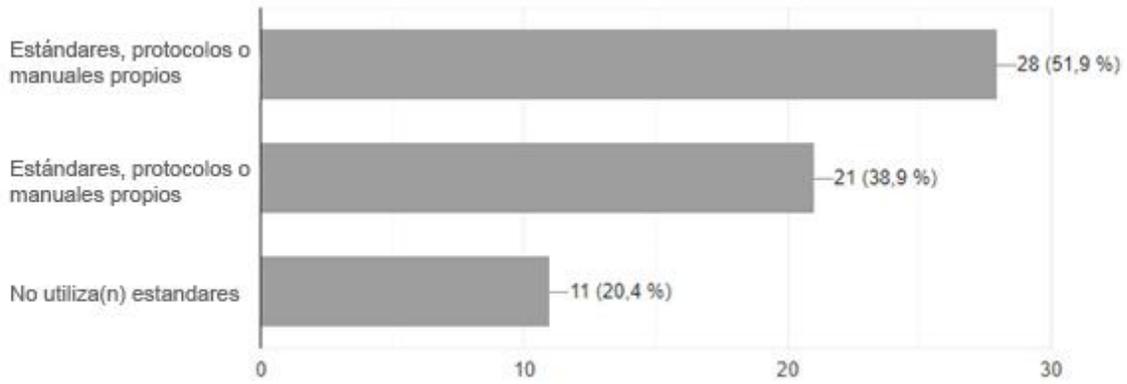
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia*

Esa competitividad ha dado iniciativas interesantes, las mismas que han llevado a muchas organizaciones a incorporar protocolos de trabajo que hagan eficiente sus labores productivas y respondan a las condiciones actuales. En el Valle de Aburra diferentes compañías involucradas al uso de la metodología BIM vienen implementando estándares de trabajos internos, probablemente apoyados en otros protocolos internacionales para el desarrollo de sus modelos y actividades relacionadas al entorno BIM. El 51.9 % menciona hacer uso de estándares o protocolos propios para el desarrollo de sus modelos. Otros dicen que los estándares bajo los cuales elaboran sus modelos de información han sido en base a los estándares determinados por el cliente (38.9%), los cuales son específicos al uso del modelo BIM.

De acuerdo a la imagen 106, en las actividades en que diferentes disciplinas o compañías utilizan BIM con mayor frecuencia es en el modelado de diseño (83.3%), otros mencionan también hacer uso de esta metodología en mediciones y presupuestos (53.7%) , modelo de terreno existente (44.4%) y otros análisis de ingeniería (29.6%), seguido también de actividades como análisis estructural, análisis energético y análisis de iluminación, las

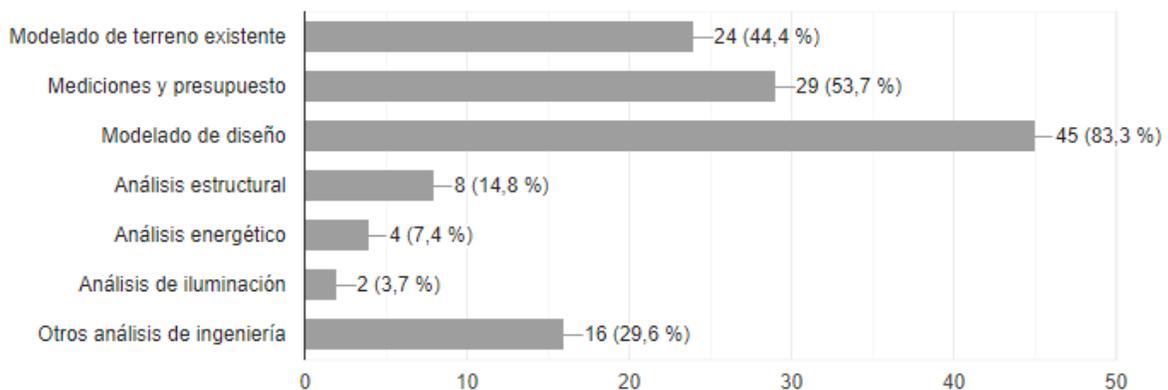
cuales representan un 25.9% del total de las actividades realizadas en BIM en el contexto local.

*Imagen 105: El desarrollo de los modelos BIM, lo hace(n) con base en. Selección múltiple*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia*

*Imagen 106: ¿En cuál de las siguientes actividades usted o la compañía utiliza BIM? Selección múltiple*



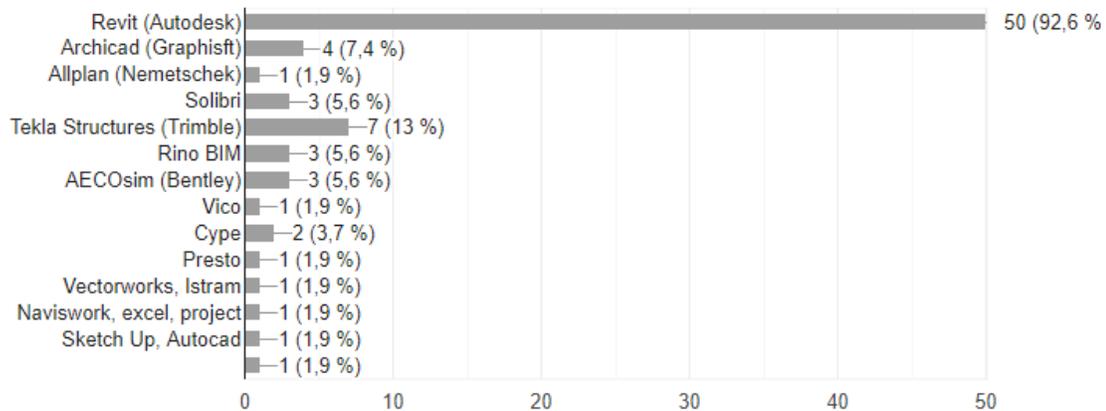
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia*

Lo anterior permite ver la diversidad de aplicaciones y utilidades que se le da a los moldeos de información en el medio local, las cuales requieren de herramientas específicas para cada actividad. Sin embargo, el poco conocimiento en BIM como metodología de trabajo deja de lado otro tipo de aspectos importantes, como la implementación y elección libre del software a usar, incluso los estándares determinados

por los clientes en muchos casos ciñen una herramienta específica, que generalmente es la de mayor uso en el mercado.

En la actualidad Revit se presenta como la herramienta de más alta demanda y de mayor uso en el entorno local (92.6%), así lo refleja la imagen 107, donde, además, se evidencia una ventaja significativa frente a otras herramientas. A esta le sigue es Tekla Structure con un 13 %, la diferencia entre una y la otra de 79.6%. Y en consecuencia de esto, en muchas ocasiones se le impone a una especialidad determinada trabajar bajo un software que no es el más eficiente en el desarrollo de sus actividades.

*Imagen 107: Del siguiente listado de software ¿Cual(es) usa usted o la compañía para el desarrollo de los diseños pertinentes a su área? Selección múltiple*



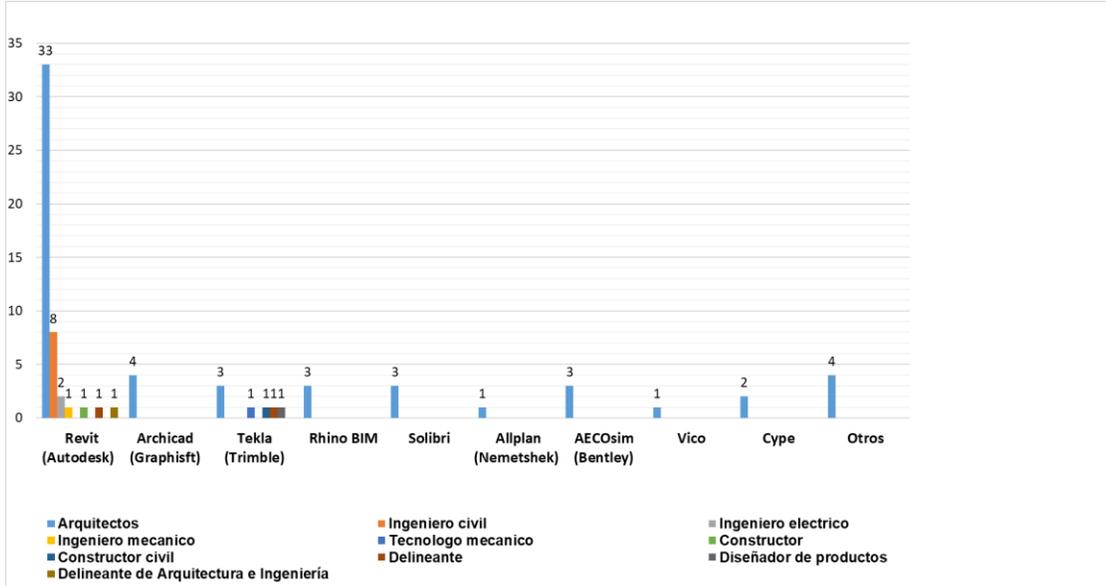
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

De lo anterior se interpreta la gráfica expuesta en la imagen 108. Como se puede observar, se dividen las herramientas de acuerdo al uso de las diferentes disciplinas que respondieron la encuesta. Allí se evidencia que los arquitectos tienen un mayor dominio sobre los diferentes software BIM, además de Revit también hacen uso de otras aplicaciones como Archicad, Tekla, Rino BIM, Solibri, Allplan, AECOsim, Vico, Cype y demás, lo que es consecuente a lo mencionado anteriormente referente a las diversas actividades realizadas por esta disciplina.

Tan solo Ingenieros civiles, constructores, dibujantes de estructuras metálicas, tecnólogos mecánicos y diseñadores de productos utilizan una herramienta diferente a Revit, en este caso ellos usan Tekla Structure. Mientras que ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, constructores civiles, delineantes de arquitectura e ingeniería y

algunos ingenieros civiles han adoptado la herramienta de mayor uso en el mercado (Revit).

Imagen 108: Uso de herramientas de modelado BIM por disciplinas



Fuente: Interpretada de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

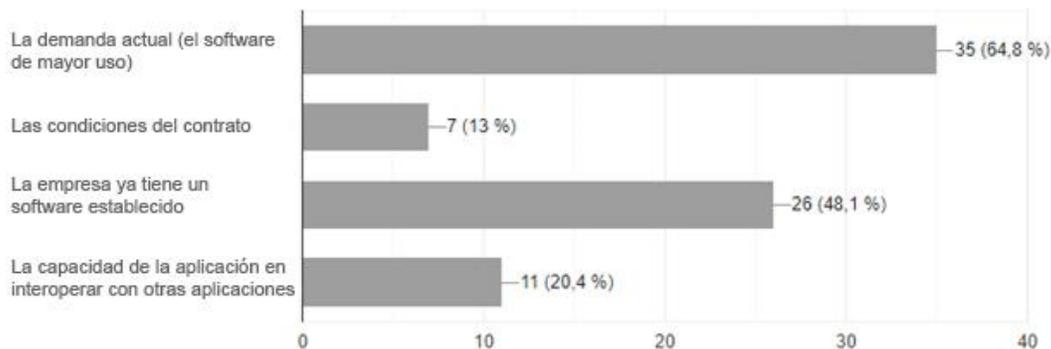
En complemento a lo anterior, la encuesta busca determinar la razón o los motivos por los cuales los usuarios BIM hacen elección de las herramientas para el desarrollo de los modelos pertinentes a sus áreas de desempeño laboral. La imagen 109 refleja que el 64.8% de los encuestados hacen elección del software de acuerdo a la demanda actual, el de mayor uso en el mercado (Revit). Otros usuarios y las empresas donde laboran ya tienen un software establecido (48.1%) que también en este caso es el de mayor demanda. Y como se mencionó anteriormente, otro porcentaje de personas involucradas en un entorno BIM no tiene la oportunidad de hacer elección de su herramienta, pues en muchas ocasiones esta es determinada por el cliente, que, del mismo modo que la imagen que relaciona los softwares por disciplinas (imagen 108), también puede considerarse que la herramienta determinada por el cliente es la de mayor demanda.

Sin embargo, y de manera sorprendentemente un porcentaje del 20.4% dicen que la elección del software ha sido por la capacidad de interoperar con otras herramientas, y aunque en este caso, también podría ser Revit es interesante que un elevado número de usuarios BIM considere esta opción como la determinante para la adopción sus herramientas.

La elección clara del software BIM es determinante para compaginar en un flujo de colaborativo, por ejemplo, quien dice en la encuesta realizar un análisis de iluminación o

energético, estructural o de otras ingenierías, requiere de un software diferente al usado para el modelado arquitectónico o modelado de terreno como podría ser Tekla, AECOsim archicad, Allplan y otras. Al no existir esa interoperabilidad, los esfuerzos se duplican o quizás se triplican porque requeriría realizar de nuevo un modelo arquitectónico o los componentes que se vean involucrados en sus análisis, es decir se puede realizaría 3 veces el mismo trabajo, lo cual no tendría sentido ni es consecuente con el concepto metodológico de BIM.

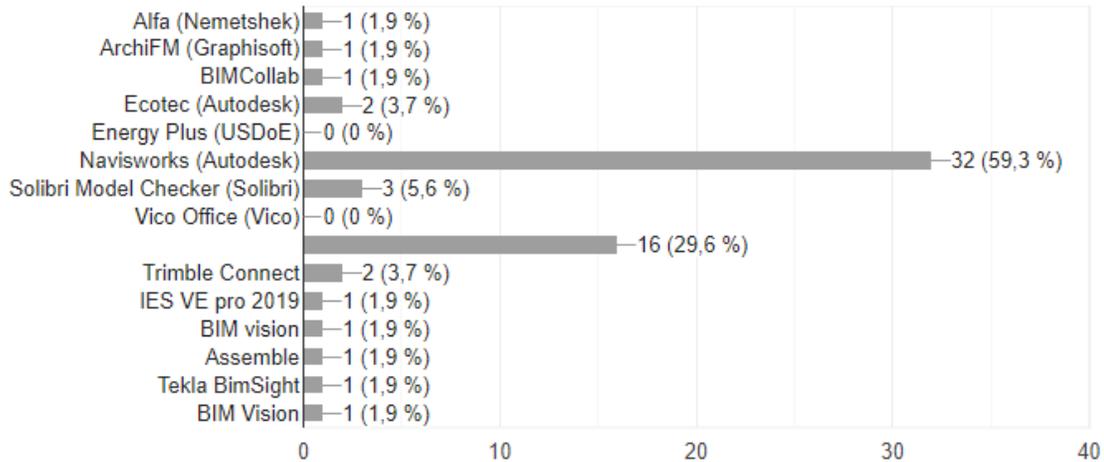
*Imagen 109: ¿La elección del software BIM para el desarrollo de los modelos pertinentes a su área de desempeño laboral, es determinado a partir de? Selección múltiple*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Por otra parte, se evidencia que la herramienta de mayor uso para la validación y análisis de los modelos BIM es Navisworks (imagen 110). El 59.3% de los encuestados mencionan usar esta herramienta. Y nuevamente aquí predomina Autodesk, de lo que también se podría argumentar que el uso generalizado de estas herramientas se atribuye a que los usuarios consideran que hacer uso de las herramientas de la misma casa fabricante contribuye a un flujo de información fluido y sin pérdidas de datos en las diferentes interacciones requeridas con las demás disciplinas. Y, también, que existe un monopolio en el mercado por parte de la compañía Autodesk en el entorno local.

Imagen 110: ¿Qué herramientas usa(n) para la verificación y análisis de modelos BIM? Selección múltiple



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

De lo anterior, también se atribuye que tanto en el país como en el entorno local existe un vacío en estándares que den lineamientos a los procesos de manera correcta. Así lo manifestó el 63% de los encuestado, los que además consideran lo mencionado como uno de los mayores retos a los que se enfrenta una disciplina en particular en la adopción de la metodología BIM.

Otros motivos como los altos costos de inversión en software y hardware, representan también obstáculos en la implementación de BIM, tal como lo considera el 46.3% de los participantes encuestados (imagen 111). Adicional a esto, la adopción de esta metodología también se ve afectada por los altos costos en las capacitaciones se requieren para el uso adecuado de las herramientas.

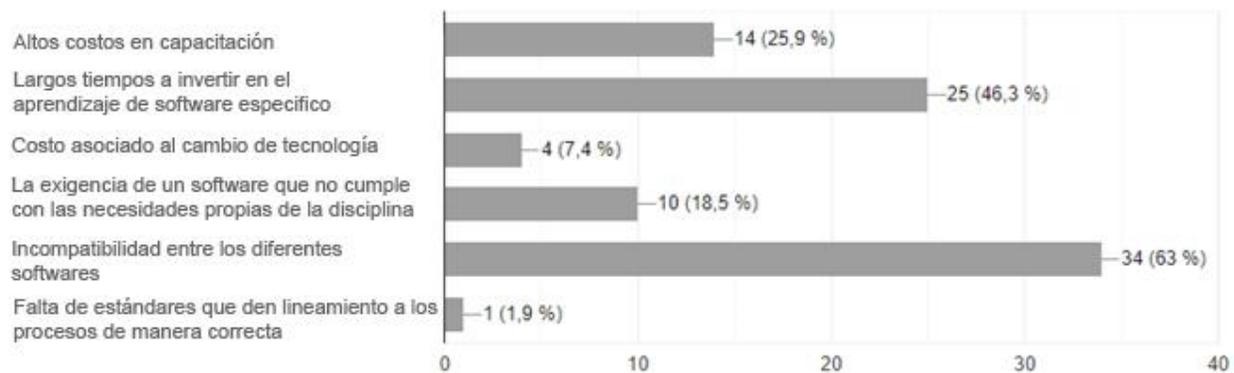
Esta investigación, al igual que otras realizadas en el país, concuerda con que las barreras asociadas a la implementación de BIM están relacionadas a los altos costos de capacitación, falta de personal preparado y la falta de estándares gubernamentales.

Pero también plantea que mucho de lo anterior está relacionado con la imposición de una herramienta específica a una disciplina en particular, en especial a aquellas que no compaginan con el software requerido. Esto lo que finalmente ocasiona es el aumento en los costos asociados a la implementación de la metodología para dichos particulares, pues tendrán que capacitar a su personal porque no están familiarizados con la herramienta determinada, requieren de una inversión en licencias para hacer usos del software, someterse una curva empinada en el aprendizaje de la herramienta, etc. Lo que

también tendría una alta incidencia sobre los problemas generales de adopción de BIM en el campo de la construcción tanto en país como a nivel local.

Por consiguiente, se considera que la transparencia en los procesos de elección y el uso libre de las herramientas puede contribuir a la adopción generalizada de la metodología BIM en Colombia. Sin embargo, es necesario fortalecer ciertos factores que son considerados como las dificultades en el intercambio de información y los estándares asociados a la colaboración.

*Imagen 111: Desde su perspectiva, ¿Cuáles son los mayores retos a los que se enfrenta una disciplina en particular en la adopción de la metodología BIM? Selección múltiple*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

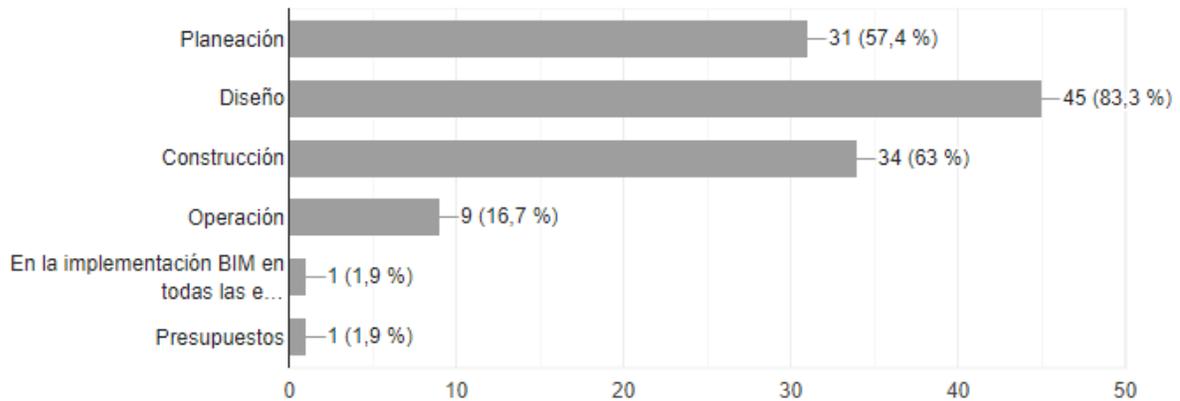
### **Procesos colaborativos en la gestión de proyectos desarrollados bajo la metodología BIM**

De acuerdo a la imagen 112, las disciplinas encuestadas tienen mayor intervención en la fase de diseño del proyecto arquitectónico (83.3%), lo cual está relacionado con los perfiles profesionales y las actividades laborales de cada uno de los participantes del estudio.

Otras etapas como la de planeación y construcción, también reflejan una alta intervención (57.4% y 63% consecutivamente). Pues los alcances en el proyecto de diferentes arquitectos e ingenieros pueden abarcar varias etapas, ya sea por determinaciones contractuales o por la dinámica natural de cierta disciplina; es decir, al arquitecto se le encarga el diseño de una edificación, y este participa en varios procesos como la planeación, viabilidad, presupuestos, diseño arquitectónico y demás, o también las

condiciones del contrato comprenden el acompañamiento y la supervisión en la construcción de la obra.

Imagen 112: ¿En qué etapa del ciclo de vida del proyecto interviene usted o la compañía en la que labora actualmente? Selección múltiple

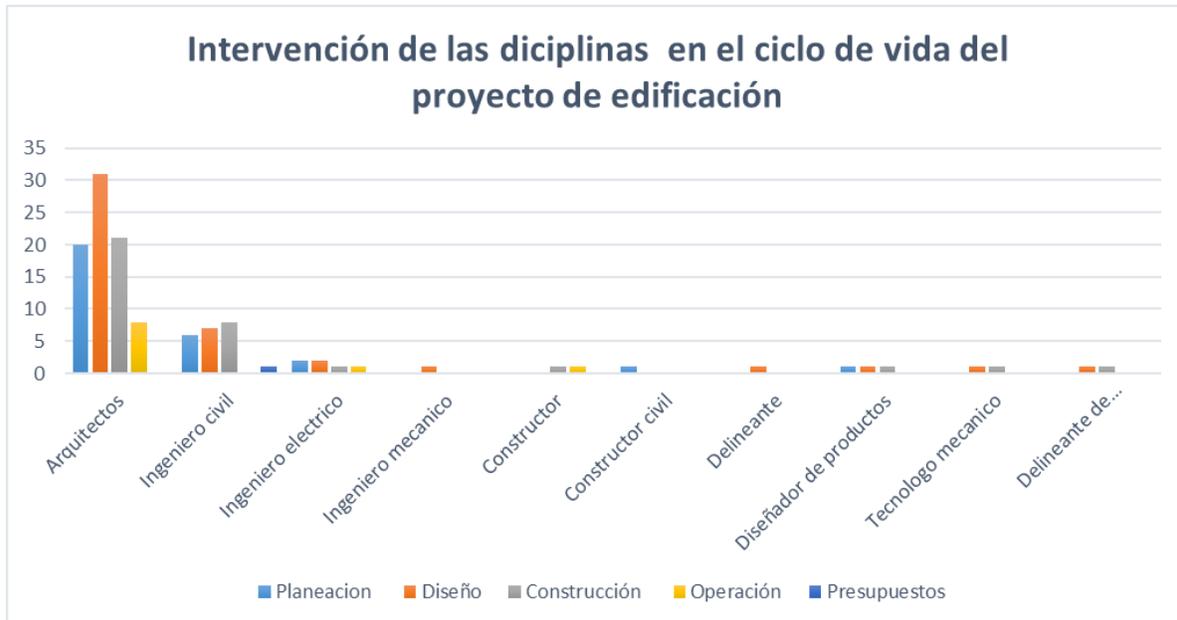


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinaria basada en modelos de información. Elaboración propia

La intervención en cada una de las etapas del ciclo de vida del proyecto por parte de las disciplinas encuestadas se refleja en la imagen 113. Como se observa, la fase de diseño es donde se da la mayor integración de profesionales en este campo, arquitectos, ingenieros civiles, Ingenieros eléctricos, ingenieros mecánicos, delineantes, diseñadores de productos y tecnólogos mecánicos dicen ser partícipes del proyecto en esta fase.

Como también se refleja en la imagen mencionada anteriormente, la intervención de otras disciplinas diferentes a arquitectura y diseño estructural participan igualmente en fases tempranas del proyecto. Ingenieros eléctricos, constructores y diseñadores de productos mencionan involucrarse desde la etapa de planeación. Aunque esto no sea frecuente en un proyecto tradicional, se puede considerar como el resultado de la adopción de BIM como metodología de trabajo en el entorno local.

El uso generalizado y la alta adopción de BIM impone nuevos retos de comunicación a los diversos diseñadores y empresas constructoras del Valle de Aburra. Sin embargo, el grado de complejidad en el flujo de trabajo y la gestión de la información basada en modelos de información varía en función del número total de las disciplinas intervinientes, las posibilidades de comunicarse frecuentemente para resolver problemas de manera oportuna, el nivel de estandarización en los procesos, la diversidad de herramientas usadas por cada una de las partes, así como el nivel de madurez BIM y los conocimientos enfocados al trabajo colaborativo y a la interoperabilidad.

*Imagen 113: Intervención de las disciplinas en el ciclo de vida del proyecto*

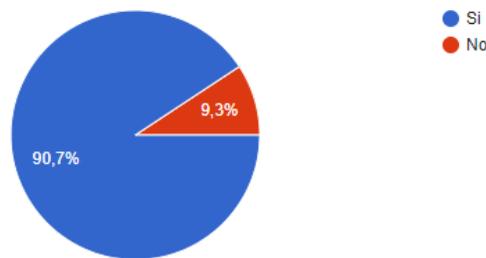
*Fuente: Interpretada de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Por otro lado, las siguientes preguntas buscan indagar en los procesos actuales de intercambio de información entre las diferentes disciplinas inmersas en un entorno de trabajo colaborativo BIM. Además, establecer los diferentes casos de intercambio de datos que se dan tanto al interior de las compañías como en los procesos de trabajos conjuntos con personales externos. También se busca determinar el grado de conocimiento y uso de formatos abiertos como estándar de intercambio de información.

En relación a lo anterior, en el entorno local se evidencia la existencia de diferentes compañías que cuentan con diversas dependencias que cubren dos o más disciplinas que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción. Lo cual es determinado por el 90.7% de los encuestados que respondieron trabajar o haber trabajado en una empresa con las características antes mencionadas (imagen 114). Es decir, estas compañías cuentan con profesionales como ingenieros eléctricos, ingenieros civiles, arquitectos y demás, que trabajan estrechamente en un mismo espacio laboral y posiblemente en el desarrollo de un mismo proyecto. Lo que de cierto modo disminuye las dificultades de comunicación ya que la respuesta a las dificultades es casi inmediata.

Se observa además que la transferencia de información entre esas partes que laboran en un mismo espacio empresarial la hacen en base a modelos BIM. El 54% mencionan que este proceso lo realizan bajo el mismo formato de creación. Que de acuerdo al alto número de encuestados que dicen usar Revit (imagen 107) se considera que es este software bajo el cual se comparte el modelo al interior de las compañías. El 20% comparte el modelo BIM en un formato estandarizado, mientras el 26% dice compartir la información extraída del modelo en formato DWG (imagen 115).

*Imagen 114: ¿Labora actualmente o ha laborado en una compañía que cuenta con dependencias que cubran dos o más de las disciplinas que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción?  
Selección única*



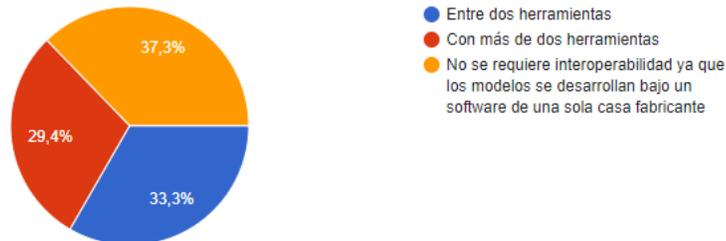
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

*Imagen 115: En caso de que la compañía en la que labora o ha laborado Si cubra dos o más disciplinas, ¿De qué manera intercambian información entre ellas? Selección única*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

*Imagen 116: En caso de compartir modelos de información BIM al interior de la compañía ¿Qué nivel de interoperabilidad se requieren en los procesos de trabajo? Selección única*



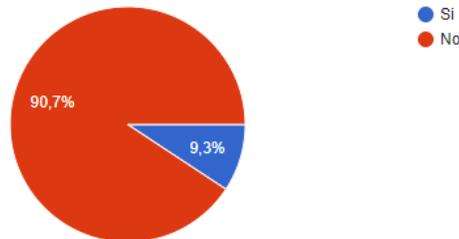
*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

Quienes comparten modelos de información BIM al interior de las empresas, el 37.3% dice no requerir interoperabilidad ya que los modelos se desarrollan bajo el software de una misma casa fabricante, siendo la combinación Revit – Naviswork la más popular. El 33.3% menciona que requieren un nivel de interoperabilidad entre 2 herramientas, mientras el 29.4% requieren un nivel de interoperabilidad entre más de dos herramientas (imagen 116).

Ahora, si bien el 62.7% dicen compartir modelos de información al interior de compañía y que requieren un nivel de interoperabilidad entre más de 2 herramientas, la respuesta puede considerarse falsa ya que se podría determinar que el 76.9% usa únicamente Revit y las relaciones que establecen los participantes pueden ser Revit-Autocad, Revit-Naviswork y Revit-BIM360. Lo cual está justificado por el alto porcentaje de disciplinas que usan un software diferente a los de Autodesk, y esto no es interoperabilidad, si no compatibilidad o un intercambio de datos directo. Sin embargo, un número menor si requieren de cierto nivel de interoperabilidad a través de un intercambio de datos abiertos, donde las combinaciones podrían ser Revit-Tekla, Revit-AECOSim, Revit-Archicad, Revit-Allplan u otras diferentes a la mencionadas.

Por lo anterior, también se determina que el nivel de interoperabilidad es bajo. Y que en la actualidad se realizan prácticas inadecuadas en el flujo de trabajo BIM interno, al compartir información en formato DWG aun cuando el 90.7% considera que no es suficiente intercambiar información en este formato (imagen 117).

Imagen 117: ¿Considera usted suficiente compartir información planimétrica con las demás disciplinas en formato DWG? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

Los problemas de comunicación e interoperabilidad también se enmarcan dentro de las deficiencias de estandarización en el país, el 92.6% de los encuestados mencionan que el nivel de estandarización en sus empresas es medio-bajo, y tan solo el 7.4% dice tener un nivel alto.

Imagen 118: Según su percepción, ¿cuál es el nivel de estandarización de los procesos asociados a la implementación BIM en la empresa que labora o ha laborado? Selección única

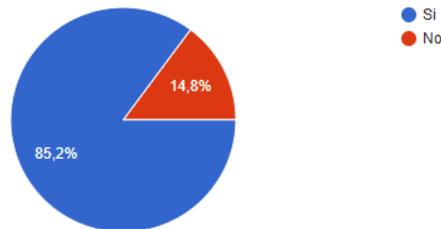


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

En la encuesta, también se identifica que no todos lo que hacen uso de BIM participan en procesos colaborativos, aun cuando esto es uno de los mayores beneficios que otorga la implementación de esta metodología. Un 14.8% menciona no ser participe en este proceso (imagen 119). Mientras que un 85.2% dice sí hacerlos.

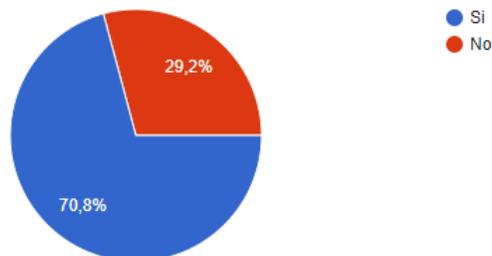
Sin embargo, el 29.2% de quienes participan en procesos colaborativos lo realizan sin protocolos de comunicación establecidos (imagen 120), y de igual manera cuando esa comunicación con otras disciplinas se da internamente en la compañía. Por consiguiente, se considera que existe una baja estandarización y vacíos en los protocolos de comunicación que den lineamientos al intercambio de información entre modelos BIM.

Imagen 119: ¿Participan o ha participado en procesos colaborativos asociados a la metodología BIM con otras disciplinas? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

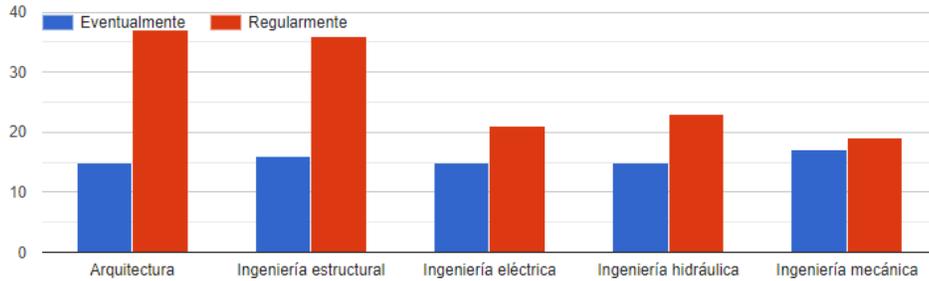
Imagen 120: En caso de que si ¿se establecen protocolos de comunicación que den lineamientos al intercambio de información? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

De acuerdo a la imagen 121, el mayor flujo de información se da entre arquitectura y estructura, aunque con mayor regularidad con la primera mencionada. Lo que demanda un alto grado de responsabilidad frente en la producción de los modelos arquitectónicos ya que este es la base de información para las demás especialidades.

Imagen 121: ¿Con cuáles disciplinas intercambia información? Selección múltiple

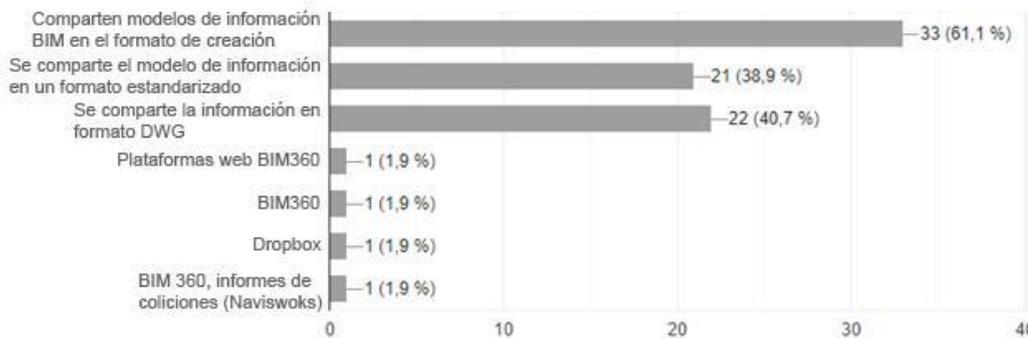


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

En relación al proceso de intercambio de información con personal externo, la imagen 122 evidencia que en el mayor de los casos (61.1%) la transferencia del modelo se continúa realizando en el formato de desarrollo, que bajo este panorama continúa siendo Revit. La misma imagen. también refleja que una de las mayores practicas actuales de comunicación está relacionada a la exportación de la información en formato DWG y emitida por el medio definido.

Lo anterior está condicionado a diversos factores, ya sea por procedimientos definidos, lo cual sería erróneo, o porque no todos los involucrados en el desarrollo de un mismo proyecto hacen parte del entorno BIM en que laboran. Lo que desvirtúa los propósitos de BIM.

Imagen 122: ¿Qué método utiliza para el intercambio de información en un entorno de trabajo colaborativo BIM? Selección múltiple



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

De las respuestas anteriores se pueden determinar 3 casos de tipos de intercambio de información en el entorno local, y son como siguen:

**Caso 1:** Empresas que cuentan con dependencias que cubren más de dos disciplinas que intervienen en el desarrollo de un proyecto de edificación, donde la transferencia de información se realiza en base al modelo BIM en el mismo formato de creación, siendo Autodesk Revit la herramienta principal para el desarrollo del proceso antes mencionado. Por tanto, se considera esto un entorno de trabajo cerrado, donde no se requiere un nivel de interoperabilidad ya que los modelos son realizados bajo un mismo software de una casa fabricante específica.

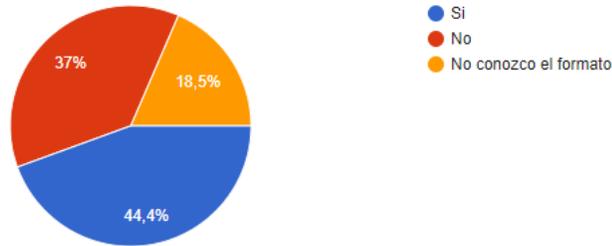
**Caso 2:** Empresas que, aunque cuentan con dependencias que cubran más de dos disciplinas, requieren también una colaboración con compañías externas. Sin embargo, la comunicación en base a modelos de información sigue siendo en el mayor de los casos en el formato de creación. Por tanto, el software Revit continúa predominando en este proceso colaborativo a nivel local. Y aunque algunos mencionan realizar este proceso en un formato estandarizado por la compañía, puede considerarse que es el formato RVT (revit) el definido y establecido para este tipo de procedimientos.

**Caso 3:** Cuando los protocolos de intercambio de información no son claramente definidos, el intercambio de datos se realiza en DWG. Lo cual no obedece a una adecuada implementación de la metodología BIM.

Las opciones recursivas de transferir la información bajo la exportación de planos DWG, se relaciona también al alto desconocimiento y poco uso de formatos interoperables como IFC. Y esto está determinado en las respuestas del participante, el 37% dicen no usarlo, mientras que el 18.5% mencionan no conocerlo. Por lo cual se puede considerar que un total del 55.6% de los encuestados no hacen uso de este formato en un flujo de trabajo colaborativo BIM.

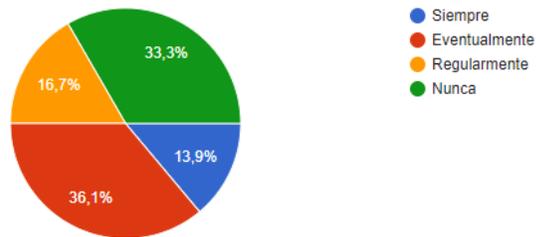
No obstante, de quienes si hacen uso del formato mencionado (44%), tan solo el 13.9% define los requisitos de intercambio de información del modelo BIM con las demás disciplinas con quien colabora. Lo que quiere decir que solo ese porcentaje se pone de acuerdo con la otra disciplina de los componentes necesarios o de interés de quien recibe la información.

Imagen 123: ¿Ha utilizado el formato IFC como estándar de comunicación entre las aplicaciones con las demás disciplinas con las que colabora? Selección única



Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

Imagen 124: En caso de usar IFC ¿define usted los requisitos de intercambio de información del modelo BIM con la disciplina con quien colabora? Selección única

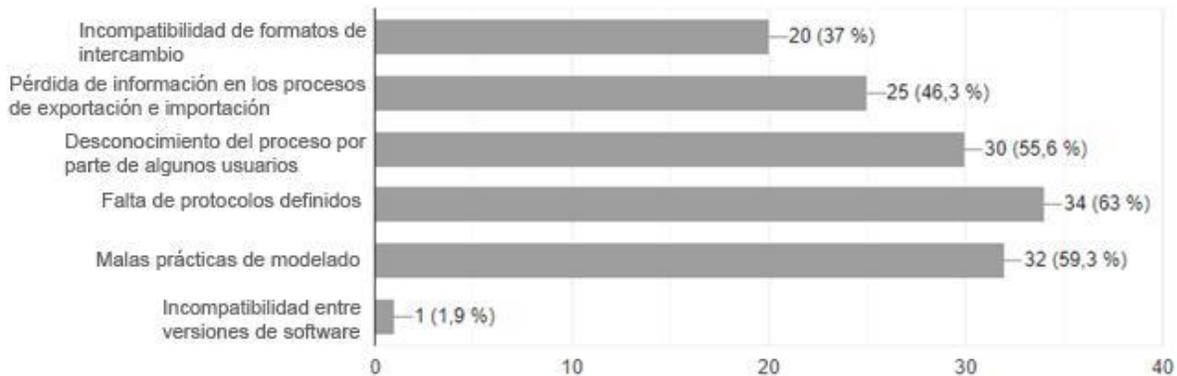


Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia

De otro modo, para dar una mayor claridad de los problemas asociados al intercambio de información bajo modelos BIM, se les pregunto a los participantes acerca de los factores que podrían dificultar este proceso de comunicación con otras disciplinas.

Un gran número reconoce que la falta de protocolos definidos es uno de los mayores factores que dificultan el intercambio de información basado en modelos BIM (63%). Otro alto porcentaje menciona que las malas prácticas de modelado conducen a generar un factor de dificultad en este proceso (59.3%). Mientras que algunos más reconocen que una de las mayores problemáticas está asociada al desconocimiento del proceso por parte de algunos usuarios (55.6%), y un porcentaje no lejano a este (46.3%) menciona que los factores de dificultad están relacionados con la pérdida de información en los procesos de exportación e importación de la información en un software determinado, quizás la misma razón por la cual el 37% dice que el problema está en la incompatibilidad de formatos de intercambio.

*Imagen 125: ¿Qué factores cree que podrían dificultar los procesos de intercambio de información basado en modelos BIM entre las diferentes disciplinas? Selección múltiple*



*Fuente: Tomado de encuesta de percepción: La interoperabilidad en el entorno BIM y la comunicación interdisciplinar basada en modelos de información. Elaboración propia*

## Anexo 2: Entrevista a expertos

Los tiempos de confinamiento producto de la pandemia por el Covid-19 vividas en el año 2020, llevaron a tomar otro tipo de alternativas relacionadas a las entrevistas a los expertos. En estos casos, por las limitaciones de la movilidad y la prespecialidad, las encuestas fueron realizadas a través de plataformas digitales como google meet.

### **1: Entrevista a Juan Felipe Díaz – martes 17 de marzo de 2020. Hora: 9:00 am a 10:00 am**

Con la intención de identificar las dificultades en la transferencia de información entre estas disciplinas de arquitectura e ingeniería de estructuras metálicas, se realizó una entrevista con Juan Felipe Díaz, director técnico de Latam- CONSTRUSOFT de manera virtual como anteriormente se anunció.

Las preguntas fueron planteadas desde los aspectos más generales a los temas particulares en relación con la metodología BIM y las dificultades de la interoperabilidad en este campo.

Las preguntas fueron las siguientes:

1. Desde su experiencia ¿Cómo considera que ha impactado el uso de tecnologías BIM en la ingeniería estructural?

2. ¿Qué diferencia la implementación de tecnologías BIM en la etapa de diseño a los métodos tradicionales?
3. ¿Podría afirmarse que la adopción del BIM ha representado ahorros en tiempo y costos para las empresas dedicadas al diseño, cálculo y producción de elementos para estructuras en acero? ¿Existen mediciones y como se representan esos ahorros?
4. ¿Cuáles son los problemas más comunes que debe enfrentar una empresa de diseño y cálculo estructural durante la etapa de diseño de un proyecto desarrollado bajo la metodología BIM?
5. Entendiendo que la comunicación entre las disciplinas, especialmente la arquitectura es un factor determinante para el éxito de un proyecto bajo la metodología BIM, ¿Cuáles cree que son los principales problemas que surgen en torno a la comunicación y como podrían subsanarse?
6. Considerando que los desarrollos de las estructuras metálicas requieren de herramientas especializadas, diferente a la usada habitualmente por otras disciplinas, como la arquitectura. ¿Qué dificultades trae esto para lograr una comunicación fluida y continua con las demás especialidades?
7. Desde su experiencia ¿cuáles son las dificultades que presenta el entorno actual para lograr una adecuada interoperabilidad entre software especializados de diferentes disciplinas?
8. ¿De qué forma repercuten los problemas asociados a la interoperabilidad en el desarrollo de un proyecto? ¿Esto en términos económicos y productividad que representa?
9. ¿Quién está asumiendo los costos de esos problemas y cómo ve en el futuro que puedan subsanarse estas dificultades?
10. ¿Qué opina sobre la hegemonía o monopolio de las casas productoras de software como solución a los problemas de interoperabilidad?
11. ¿Hacen usos del formato IFC como estándar de comunicación entre las aplicaciones con las demás disciplinas con las que colabora?

12. ¿Qué formatos de intercambio abierto son los más usados y cuáles son sus principales limitantes o posibilidades?
13. ¿Cuáles son los principales retos para lograr el sector del diseño de la ingeniería estructural para lograr la adopción del BIM en sus empresas?

### **Tomas Trujillo - miércoles 24 de junio. Hora: 3:00 pm a 4:00 pm**

En la actualidad el área de construcción de la empresa AIA es una de las principales compañías que han adoptado la metodología BIM para llevar a cabo sus labores en los procesos constructivos. Por tanto, la alta experiencia en la temática de esta compañía se considera como un aporte importante para la presente tesis, Así el director de diseño y construcción virtual, Tomas Trujillo fue entrevistado a manera de conversatorio con el ánimo de conocer desde su experiencia, como ha sido el flujo de trabajo con las demás empresas o agentes externos con los que participa en el desarrollo de una edificación.

### **Francisco Posada – miércoles 15 de Julio de 2020. Hora: 6:00 pm a 8:00 pm**

De acuerdo a la temática planteada en el capítulo 5 de la tesis, relacionada a la interoperabilidad entre la disciplina de arquitectura y estructura. Se realizó una entrevista al arquitecto Francisco Posada, director de proyectos de diseño de la empresa constructora Arquitectos e Ingenieros Asociados, con el ánimo de conocer desde su perspectiva y experiencia.

Las preguntas para llevar a cabo la reunión fueron las siguiente:

#### **Aspectos Generales:**

1. ¿Cómo ve la relación profesional entre arquitectura e ingeniería en Colombia?
2. ¿Has tenido alguna experiencia internacional? Comparado con Colombia que ventajas o desventajas ves en los modelos foráneos.?
3. ¿Cómo influye la relación entre arquitectura e ingeniería en la productividad en el sector de la construcción?

#### **Entendimiento del marco de relación.**

4. De acuerdo con el objeto de contratación, ¿en qué momento entran en relación la arquitectura y la ingeniería? Solo diseño – Diseño y construcción – solo construcción – etc.

5. ¿Cree que el momento de relación entre el profesional de la arquitectura y la ingeniería en un proyecto de diseño y construcción es oportuno? ¿Cuál sería ese momento?
6. Cree que la distribución actual de responsabilidades en los proyectos fomenta la interoperabilidad o la limita.
7. ¿Existirían ventajas operativas si se fomentara la interoperabilidad entre arquitectura e ingeniería? ¿Cuáles cree serían esas ventajas o dificultades para lograr esa interoperabilidad?

### **Preguntas concretas para caracterizar el objeto de estudio**

- A. Caracterización de la relación entre arquitectura y diseño.
8. Desde su experiencia ¿Cómo se desarrolla el flujo de trabajo entre el diseño arquitectónico y el diseño estructural, de acuerdo a la modalidad de proyecto?
  9. ¿Cómo influye el estado de madurez del proyecto en este flujo de trabajo?
  10. ¿Cuáles son los aspectos que se deben coordinar entre la arquitectura y la estructura?
  11. ¿Cuáles son las dificultades que con frecuencia se encuentran en el flujo de trabajo entre el arquitecto y el diseñador estructural?

### **12. Caracterización de la comunicación en el flujo de trabajo.**

13. ¿De qué forma se comparte la información, bajo qué medios y en que formatos?
14. ¿Crees que los medios usados en la actualidad son oportunos y eficientes? ¿En que podrían mejorar?
15. ¿Cuáles son los principales problemas de comunicación y en qué forma repercuten sobre el diseño de la edificación? (En términos económicos y de productividad)
16. ¿Quién asume los costos de esos problemas?
17. ¿Qué estrategias ha implementado en su empresa, para mejorar la comunicación en la interoperabilidad? O ¿qué estrategias cree que debieran incorporarse, pero aún no se encuentra el escenario propicio?

### **B. Impacto de la Metodología BIM.**

18. ¿Han implementado la metodología BIM en su empresa? ¿En términos generales que concepto tiene usted del impacto de esta metodología en su empresa?

19. ¿Considera usted, desde su perspectiva y experiencia, que los modelos BIM y los medios actuales de comunicación como pueden mejorar o han mejorado los problemas de comunicación entre la arquitectura y estructura?
20. ¿Qué retos considera que puede traer al flujo de trabajo entre el arquitecto
21. y estructural, la implementación integral de la metodología BIM?

### **C Aspectos concluyentes.**

22. ¿Dónde sitúa los retos para mejorar el flujo de trabajo entre arquitectura y estructura? (Como influyen en esto el tipo de contratación)
23. Partiendo de una clasificación cualitativa de las dificultades en la comunicación en: 1. Aspectos Humanos (relacionados con elementos culturales en términos de procesos y estándares); 2. Aspectos Tecnológicos (relacionados con las dificultades en el uso o disponibilidad de las herramientas tecnológicas). ¿Cómo cree que cada uno de estos aspectos repercuten en la gestión eficiente del proyecto?
24. ¿La metodología BIM actual responde a los retos que se deben superar para mejorar el flujo de trabajo entre arquitectura e ingeniería? o considera que su implementación debe aportar otras mejoras