

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**INFLUENCIA DEL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA EN LA
ADOPCIÓN BIM DE LOS PROFESIONALES DE CONSTRUCCIÓN**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Cristhian Andre Vasquez Rivera

ASESOR:

Danny Eduardo Murguía Sánchez, Ph.D.

Lima, Junio, 2021

RESUMEN

Building Information Modelling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para gestionar el diseño y la información de un proyecto de construcción durante su ciclo de vida en un formato digital (Succar, 2009). En Lima, según el primer estudio de adopción BIM (Murguía, Tapia & Collantes, 2017), 1 de cada 4 proyectos de construcción ha implementado BIM en alguna etapa de su ciclo de vida. Sin embargo, las investigaciones y publicaciones notables de BIM disponibles a la fecha son escasas en este país, situación que no permite el correcto análisis de la adopción BIM ni de sus principales impulsores.

El presente trabajo de tesis actualiza parte de la información presentada en la publicación “Primer Estudio de Adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao” y forma parte de la segunda versión del mismo junto con el aporte de dos tesis más: “Percepciones sobre la Aceptación y Uso de BIM” (Pavel Balboa), y “Uso y Beneficios de BIM” (Wilfredo Lara). Para ello, se realiza un estudio literario de BIM, su marco de trabajo y los aspectos que intervienen en su adopción, a fin de obtener un fundamento teórico en el cual basar nuestra investigación. A este marco teórico, se añade una investigación de los estudios existentes de macro adopción BIM realizados en países a nivel mundial con el fin de evaluar, con mayor profundidad, el efecto de la Industria en dicha adopción. Además, en la presente tesis se emplea una encuesta de investigación como instrumento de recolección de datos para evaluar los efectos actuales de la Industria respecto a la percepción de los profesionales de la industria AEC de este territorio. Finalmente, los datos obtenidos son evaluados mediante técnicas de estadística descriptiva y se enriquece esta evaluación con el empleo del software SmartPLS 3 como técnica de estadística inferencial a fin de obtener un análisis más profundo del tema de tesis presentado. Con este trabajo de tesis, se espera identificar, como conclusión principal, cuánta repercusión tienen los actores institucionales de la Industria en la adopción BIM por parte de los profesionales de la industria AEC en Lima Metropolitana y Callao.

Palabras clave: adopción BIM, marco de trabajo BIM, percepción BIM, macro adopción BIM, SmartPLS 3.

AGRADECIMIENTOS

El camino de vida hasta esta etapa ha sido largo, arduo y satisfactorio.

Agradezco a todas las personas que depositaron su confianza en mí.

Agradezco todas las oportunidades que tomé con la idea de que me llevarían a un lugar mejor que el anterior.

Ahí estoy, y soy feliz.



ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Organización	3
2	CAPÍTULO 2. BIM: BUILDING INFORMATION MODELING	4
2.1	Introducción	4
2.2	Marco de trabajo BIM	5
2.2.1	Modelo triaxial.....	6
2.3	Adopción BIM.....	20
2.3.1	Implementación BIM	21
2.3.2	Difusión BIM	22
2.3.3	Modelo del Punto de Adopción	22
2.3.4	Taxonomía de Adopción BIM	23
2.3.5	Primer Estudio de Adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao – 201729	
3	CAPÍTULO 3. MACRO ADOPCIÓN BIM.....	33
3.1	Introducción	33
3.2	Modelos de macro adopción BIM.....	34
3.2.1	Modelo A: Áreas de Difusión.....	34
3.2.2	Modelo B: Componentes de Macro Madurez.....	36
3.2.3	Modelo C: Dinámica de Macro Difusión.....	38
3.2.4	Modelo D: Acciones de Formadores de Política	39

3.2.5	Modelo E: Responsabilidades de Difusión	41
3.3	Estudios de Macro Adopción a nivel mundial	43
3.3.1	Macro Adopción BIM en 21 países – 2015	43
3.3.2	Macro Adopción BIM en Perú – 2019.....	50
4	CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN APLICADA	58
4.1	Introducción	58
4.2	Estructura de investigación	59
4.3	Encuesta de investigación “Influencia de la Industria en la adopción BIM”	60
4.3.1	Alcance	61
4.3.2	Diseño muestral	61
4.3.3	Diseño de la encuesta.....	64
4.3.4	Formato de evaluación.....	67
4.3.5	Prueba piloto	68
4.3.6	Recolección de datos.....	68
4.3.7	Procesamiento de datos obtenidos	68
4.3.8	Validación y limpieza de datos	69
4.3.9	Técnicas de tratamiento estadístico descriptivo.....	69
4.3.10	Técnicas de tratamiento estadístico inferencial – SmartPLS 3.....	69
5	CAPÍTULO 5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
5.1	Resultados de la encuesta de investigación.....	80
5.1.1	Información general de encuestados	80
5.1.2	Percepciones de las características innovativas BIM.....	82
5.1.3	Factores del contexto de la Industria	84
5.2	Resultados de la modelación PLS-SEM.....	88

5.2.1	Resultados del algoritmo PLS en la modelación	88
5.2.2	Salidas de la modelación PLS-SEM	89
5.3	Evaluación de hipótesis del modelo de investigación.....	92
6	CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93
6.1	En relación con la muestra encuestada.....	93
6.2	En relación con el concepto BIM.....	93
6.3	En relación con las percepciones de BIM	94
6.4	En relación con los factores del contexto de la Industria.....	95
6.4.1	Presión coerciva.....	95
6.4.2	Presión normativa	96
6.4.3	Efecto del sistema de procura	98
6.4.4	Efecto de la asequibilidad.....	99
7	CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
7.1	Introducción	101
7.2	Factores de la Industria que afectan la adopción BIM.....	101
7.3	Perfil actual de los profesionales de construcción	102
7.4	Concepto BIM.....	102
7.5	Percepción de las herramientas innovativas BIM	102
7.6	Influencia de la Estandarización BIM en la adopción BIM.....	102
7.7	Influencia de la Educación/Entrenamiento BIM en la adopción BIM.....	103
7.8	Influencia del sistema de procura en la adopción BIM.....	104
7.9	Influencia de la asequibilidad de costear un entorno BIM en la adopción BIM.....	104
8	BIBLIOGRAFÍA.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Connotaciones otorgadas al término BIM..	4
<i>Figura 2.</i> Modelo triaxial del marco de trabajo BIM..	6
<i>Figura 3.</i> Campos BIM..	7
<i>Figura 4.</i> Interacciones entre campos BIM.	8
<i>Figura 5.</i> Superposición de campos BIM.	10
<i>Figura 6.</i> Etapas BIM.	11
<i>Figura 7.</i> Estado pre-BIM.	12
<i>Figura 8.</i> Etapa BIM 1.	12
<i>Figura 9.</i> Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 1.	13
<i>Figura 10.</i> Etapa BIM 2.	13
<i>Figura 11.</i> Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 2.	14
<i>Figura 12.</i> Etapa BIM 3.	14
<i>Figura 13.</i> Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 3.	15
<i>Figura 14.</i> Pasos BIM.	16
<i>Figura 15.</i> Tipos de pasos BIM.	17
<i>Figura 16.</i> Lentes BIM.	18
<i>Figura 17.</i> Modelo del Punto de Adopción.	22
<i>Figura 18.</i> Concepto BIM.	30
<i>Figura 19.</i> Percepciones sobre BIM en la Industria y contexto peruano.	31
<i>Figura 20.</i> Aceptación de BIM.	32
<i>Figura 21.</i> Apoyo de la Empresa en la adopción BIM.	32
<i>Figura 22.</i> Modelo A de macro adopción BIM.	34
<i>Figura 23.</i> Modelo B de macro adopción BIM.	36
<i>Figura 24.</i> Modelo C de macro adopción BIM.	38
<i>Figura 25.</i> Modelo D de macro adopción BIM.	40
<i>Figura 26.</i> Modelo E de macro adopción BIM.	42
<i>Figura 27.</i> Resultados del modelo A de macro adopción por países - 2015.	43
<i>Figura 28.</i> Resultados de evaluación de etapas BIM por países - 2015.	44

<i>Figura 29.</i> Resultados del modelo B de macro adopción por países - 2015.	45
<i>Figura 30.</i> Resultados del modelo B de macro adopción por componentes - 2015.	46
<i>Figura 31.</i> Resultados del modelo E de macro adopción por países - 2015.	49
<i>Figura 32.</i> Resultados del modelo E de macro adopción por componentes - 2015.	50
<i>Figura 33.</i> Resultados del modelo A del estudio de macro adopción en Perú 2019.	51
<i>Figura 34.</i> Resultados del modelo B del estudio de macro adopción en Perú 2019.	52
<i>Figura 35.</i> Resultados del modelo C del estudio de macro adopción en Perú 2019.	53
<i>Figura 36.</i> Resultados del modelo D del estudio de macro adopción en Perú 2019.	54
<i>Figura 37.</i> Resultados del modelo E del estudio de macro adopción en Perú 2019.	55
<i>Figura 38.</i> Modelo de investigación de factores influentes en la adopción BIM.	56
<i>Figura 39.</i> Estructura de Investigación.	60
<i>Figura 40.</i> Secciones de la encuesta de investigación.	65
<i>Figura 41.</i> Escalas de medición.	73
<i>Figura 42.</i> Modelo final para la modelación en SmartPLS 3.	74
<i>Figura 43.</i> Profesión de los encuestados.	80
<i>Figura 44.</i> Años de experiencia laboral de los encuestados.	81
<i>Figura 45.</i> Años de experiencia laboral con BIM.	81
<i>Figura 46.</i> Concepto más cercano de BIM.	82
<i>Figura 47.</i> Comparación entre indicadores de percepción BIM de los encuestados.	83
<i>Figura 48.</i> Comparación entre indicadores de presión coerciva de la Industria.	84
<i>Figura 49.</i> Comparación entre indicadores de presión normativa de la Industria.	85
<i>Figura 50.</i> Comparación entre los indicadores del sistema de procura.	86
<i>Figura 51.</i> Comparación entre indicadores de asequibilidad BIM.	87
<i>Figura 52.</i> Modelo de primera iteración en SmartPLS 3.	88
<i>Figura 53.</i> Modelo de segunda iteración en SmartPLS 3.	89
<i>Figura 54.</i> Comparación de percepción BIM entre los años 2017 y 2020 en Lima Metropolitana y Callao.	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes del campo BIM y sus interacciones	9
Tabla 2 Lista de lentes y filtros BIM	18
Tabla 3 Escalas organizacionales.....	19
Tabla 4 Taxonomía de adopción BIM	23
Tabla 5 Factores y determinantes de las Percepciones Innovativas BIM.....	24
Tabla 6 Factores y determinantes de las Características del Entorno Externo	25
Tabla 7 Factores y determinantes de las Características del Entorno Interno	29
Tabla 8 Áreas de Difusión - modelo A de macro adopción BIM.....	35
Tabla 9 Representación de los componentes de macro madurez.....	37
Tabla 10 Matriz de dinámicas de difusión.....	39
Tabla 11 Acciones de formuladores de política.....	41
Tabla 12 Actores BIM responsables de difusión en Perú	42
Tabla 13 Dinámicas de difusión en 21 países - 2015.....	47
Tabla 14 Acciones de formuladores de política en 21 países - 2015.....	48
Tabla 15 Hipótesis planteadas del modelo de investigación	57
Tabla 16. División del total de proyectos de vivienda 2019 por sectores urbanos.....	62
Tabla 17. <i>División de sectores urbanos en distritos y grupos</i>	62
Tabla 18. Distribución final por sector urbano y grupos de la investigación	64
Tabla 19. Afirmaciones de la encuesta de investigación	66
Tabla 20 Variables latentes e indicadores de la modelación PLS-SEM.....	71
Tabla 21 Tamaño mínimo de la muestra para una modelación PLS-SEM.....	75
Tabla 22 Evaluación de la confiabilidad y validez de una modelación PLS-SEM	77
Tabla 23 Percepción de las características innovativas BIM de los encuestados	83
Tabla 24 Presiones coercivas de la Industria	84
Tabla 25 Presiones normativas de la Industria	85
Tabla 26 Efecto del sistema de procura	86
Tabla 27 Asequibilidad BIM	87
Tabla 28 Confiabilidad y validez convergente del modelo final	90

Tabla 29 Matriz de validez discriminante según el criterio de Fornell y Larcker	91
Tabla 30 Resultados del proceso de Bootstrapping	91
Tabla 31 Evaluación de hipótesis del modelo de investigación propuesto.....	92



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Building Information Modelling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para gestionar el diseño y la información de un proyecto de construcción durante su ciclo de vida en un formato digital (Succar, 2009). En Lima, según el primer estudio de adopción BIM (Murguía, Tapia & Collantes, 2017), 1 de cada 4 proyectos de construcción ha implementado BIM en alguna etapa de su ciclo de vida. Sin embargo, las investigaciones y publicaciones notables de BIM disponibles a la fecha son escasas en este país, situación que no permite el correcto análisis de la adopción BIM ni de sus principales impulsores.

Ante ello, la presente tesis realiza un primer esfuerzo en determinar el efecto que tiene en particular el contexto de la Industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción, por sus siglas en inglés) mediante sus diferentes actores institucionales (el Cliente, la Academia, cadena de suministro, entre otros) sobre la adopción BIM. La importancia de analizar el contexto de la Industria radica en comprender los principales factores y determinantes que afectan constantemente la decisión de un profesional de construcción en adoptar BIM.

Los hallazgos de esta investigación darán paso a una mejor comprensión de la situación de BIM en Lima y permitirán que los formuladores de política e impulsores BIM en general puedan redirigir sus

esfuerzos por incrementar la adopción BIM abarcando y comprendiendo a más detalle los principales factores que la afectan.

1.2 Antecedentes

El tema de investigación propuesto tiene como únicos antecedentes a dos estudios nacionales: El Primer Estudio de Adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao, realizado el año 2017; y Macro Adopción BIM en Perú, realizado el año 2019. Ambos estudios mencionados anteriormente tuvieron como responsable de investigación al ing. Danny Murguía, asesor de la presente investigación. A nivel global, los antecedentes son los estudios de macro adopción BIM pues cuentan con análisis relacionados al realizado en la presente tesis. Estos estudios serán presentados en el Capítulo 3 y abarcan un estudio en 21 países a nivel mundial y en Perú.

1.3 Objetivos

Determinar la influencia del contexto de la Industria en la adopción BIM de profesionales de construcción

Objetivos específicos:

- Catalogar los principales factores y determinantes del contexto de la Industria que influyen en la adopción BIM mediante la revisión de la literatura existente
- Diseñar y ejecutar la encuesta de investigación “Influencia de la Industria en la adopción BIM”
- Identificar los factores que influyen significativamente en las percepciones individuales de adopción BIM
- Contrastar los resultados obtenidos en base a los estudios previos existentes de adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao, y de macro adopción BIM a nivel mundial

1.4 Organización

El presente trabajo de investigación se compone de 7 capítulos:

- El Capítulo 1 es la introducción, donde se describe la motivación de la tesis, los antecedentes al presente tema de estudio y se presenta el objetivo general y los objetivos específicos. Además, se detalla la organización de este trabajo de investigación mediante una breve introducción del contenido de cada capítulo.
- El Capítulo 2 engloba la primera parte del estado del arte y está conformado por una investigación en torno a BIM y su marco conceptual disponible.
- El Capítulo 3 es la segunda parte del estado del arte y está conformado por una evaluación a nivel macro (países) de adopción BIM mediante la descripción de modelos de evaluación macro disponibles y estudios previos realizados a nivel mundial.
- El Capítulo 4 engloba la descripción de la estructura de investigación, el instrumento de medición empleado y las técnicas de tratamiento de datos. Dentro del contenido, se detalla principalmente el diseño de la encuesta virtual “Influencia de la Industria en la adopción BIM”, además de los métodos estadísticos empleados en donde se presenta al software SmartPLS 3 como parte del procesamiento de datos.
- En el Capítulo 5, se presentan los resultados obtenidos mediante la implementación de estadística descriptiva y del software SmartPLS 3.
- El Capítulo 6 presenta la discusión de resultados. En este capítulo, se emplean los conocimientos adquiridos en los Capítulos 2 y 3 a fin de evaluar la información obtenida.
- En el Capítulo 7, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis, donde se presentan las obtenciones más importantes del análisis del Capítulo 6.

CAPÍTULO 2. BIM: BUILDING INFORMATION MODELING

2.1 Introducción

Building Information Modeling (BIM) es una innovación emergente dentro de la industria de la arquitectura, ingeniería, construcción y operación (industria “AECO” por sus siglas en inglés), la cual abarca un conjunto de interacciones entre políticas, procesos y tecnologías que generan una metodología para gestionar el diseño y la información de un proyecto durante su ciclo de vida en un formato digital (Succar, 2009). Gracias al esfuerzo de diversos investigadores, la terminología referida a BIM presenta distintas connotaciones. En la figura 1, se pueden observar las distintas definiciones otorgadas a dicha terminología.

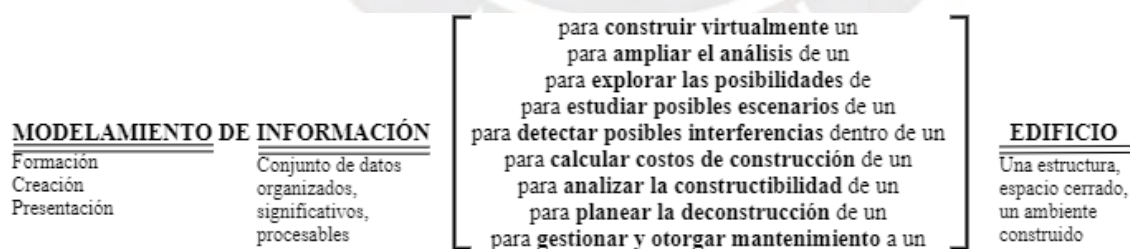


Figura 1. Connotaciones otorgadas al término BIM. Adaptado de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

Con el fin de poder realizar investigaciones y evaluaciones más profundas con respecto a BIM, que puedan ser comprendidas y compartidas a manera de conocimiento por investigadores o formuladores de política, es necesario el empleo de un marco de trabajo explicado mediante terminologías. Estas terminologías, si bien son relativas, son también necesarias para poder comprender a BIM y su innovación en la construcción. Por un lado, son relativas pues permiten ser empleadas y moldeadas de acuerdo con las necesidades o requerimientos de los investigadores. Por otro lado, son necesarias pues es importante la existencia de un marco de trabajo que permita diferenciar los elementos que comprenden la metodología BIM. Según lo antes explicado, a continuación, se presenta el marco de trabajo BIM.

2.2 Marco de trabajo BIM

Entre los beneficios por los que es reconocido BIM, se encuentran la reducción de la fragmentación de la Industria; mejoramiento de la efectividad y eficiencia; y la reducción de los altos costos por una inadecuada interoperabilidad. De acuerdo con Succar (2009), estas afirmaciones, sin embargo, incluyen un conjunto de construcciones mentales derivadas por estudios organizacionales, sistemas de información y campos regulatorios. Es entonces donde dicha complejidad solicita la necesidad de un marco de investigación para organizar todo el conocimiento. Este marco de investigación es el marco de trabajo BIM, el cual otorga una investigación sistemática del dominio BIM (Succar, 2009).

Gracias a este marco de trabajo, se obtiene un mejor entendimiento de las subdivisiones existentes dentro de BIM y de la manera en cómo implementarlo gradualmente. Así, se obtiene una metodología más manejable en cuanto a implementación del modelado del producto con los procesos. De esta manera, se obtiene una base de investigación y entrega que permite a los stakeholders de la industria AECO poder entender las estructuras de conocimiento y negociar los requisitos de implementación de BIM (Succar, 2009).

2.2.1 Modelo triaxial

El marco de trabajo BIM se caracteriza por ser multidimensional debido a su complejidad. De acuerdo con Succar (2009), este puede ser representado mediante un modelo triaxial para comprender su estructura. El modelo en mención es presentado en la figura 2 y comprende 3 ejes determinados: Campos BIM (eje x), Etapas BIM (eje y) y Lentes BIM (eje Z).

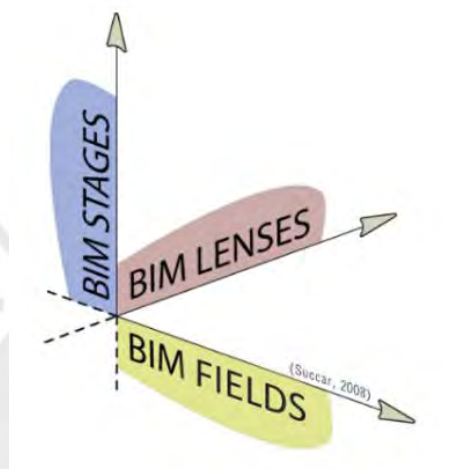


Figura 2. Modelo triaxial del marco de trabajo BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.1 Campos BIM

Los campos BIM son la primera de las tres dimensiones del marco de trabajo BIM y comprenden todos los alcances de temas y actividades dentro del dominio BIM. Como se observa en la figura 3, existen tres tipos de campos: Campo de Tecnología, Campo de Proceso y Campo de Políticas. A su vez, cada uno de estos campos se dividen en 3 componentes: actores, entregables y requerimientos. A continuación, se presenta las definiciones de cada tipo de Campo BIM y sus interacciones.



Figura 3. Campos BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.1.1 Campo de Tecnología BIM

El Campo de Tecnología BIM abarca al conjunto de actores encargados de incrementar la eficiencia, productividad y rentabilidad de la industria AECO mediante el desarrollo de equipamientos, software, hardware y sistemas de redes (Succar, 2009). Además, incluyen a las organizaciones que generan soluciones y otorgan equipamiento de softwares de aplicación directa o indirecta al diseño, construcción y operación de proyectos.

2.2.1.1.2 Campo de Proceso BIM

El Campo de Proceso BIM abarca a todos los actores quienes realizan la procura, diseño, construcción, manufacturación, gestión y mantenimiento de estructuras (Succar, 2009). Este campo incluye a los propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas y todos los actores dentro de la industria AECO que estén relacionados con la propiedad, entrega y operación de las estructuras.

2.2.1.1.3 Campo de Política BIM

El Campo de Política BIM abarca a todos los actores los cuales desempeñan el cargo de entregar investigaciones, distribuir los beneficios, localizar riesgos y minimizar los conflictos dentro de la industria AECO (Succar, 2009). Además, incluye organizaciones especializadas las cuales

cumplen un papel preparatorio, regulatorio y contractual fundamental durante el diseño, construcción y operación de un proyecto de construcción. Entre estas organizaciones, se pueden mencionar las siguientes: centros de investigación, instituciones educativas y cuerpos regulatorios.

2.2.1.1.4 Interacciones entre campos

De acuerdo con Succar (2009), las interacciones entre Campos BIM obedecen a un mecanismo “push-pull” (ver figura 4) el cual permite la transacción de conocimientos en base a requerimientos entre Campos BIM o sus componentes.

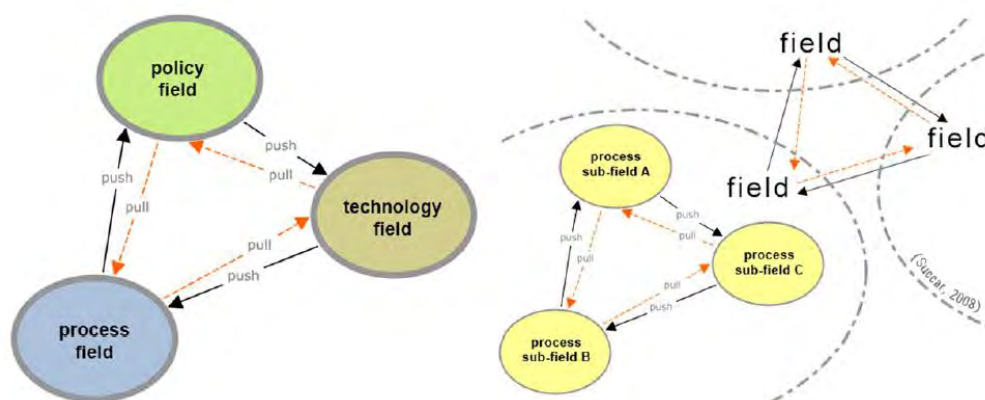


Figura 4. Interacciones entre campos BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

De acuerdo con Holsapple y Joshi (2004), mientras que el mecanismo “Push” transfiere conocimiento mediante requerimientos a otro campo BIM o componente interno, el mecanismo “Pull” transfiere conocimiento mediante la respuesta a dicho requerimiento ejercido en primera instancia. La tabla 1 resume los componentes de los campos BIM, así como también algunas de las interacciones entre campos y componentes.

Tabla 1
Componentes del campo BIM y sus interacciones

	Campo de Políticas	Campo de Procesos	Campo de Tecnología
Actores	Gobierno, investigadores, instituciones educativas, cuerpos regulatorios, entre otros.	Propietarios, arquitectos, ingenieros, topógrafos, contratistas, proveedores, fabricantes, entre otros.	Compañías de software, hardware, red y equipamiento, sus desarrollares y canales de ventas.
Entregables	Regulaciones, documentos guía, estándares, buenas prácticas, referencias, acuerdos contractuales, programas de educación	Productos y servicios de construcción incluyendo planos, documentos, modelos virtuales, componentes físicos, estructuras e instalaciones	Soluciones de software, hardware y redes. Equipamientos de oficina
Interacción entre campos y componentes			
Mecanismo “push” aplicado a otros campos	Al Campo de Procesos: graduados calificados, estándares, documentos guía Al Campo de Tecnología: Conceptos, soluciones matemáticas	Al Campo de Políticas: estudios de casos Al Campo de Tecnología: feedback	A los Campos de Políticas y Procesos: soluciones innovativas y nuevos equipamientos
Mecanismo “pull” recibido de otros campos	Del Campo de Procesos: expertos en la materia Del Campo de Tecnología: Interoperabilidad	Del Campo de Tecnología: desarrollo de soluciones Del Campo de Políticas: estándares, documentos guía y graduados	Del Campo de Políticas: esfuerzos de estandarización Del Campo de Procesos: requerimientos y experiencias
Mecanismo “push-pull” dentro del mismo campo	Intercambio entre juntas de investigación, educación y acreditación	Instrucciones del ingeniero/arquitecto (push) y Request Further Information (RFI-pull)	Capacidades del hardware (push) y requerimientos del software (pull)

Nota: Adaptado de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.1.5 Superposiciones de Campos BIM

De acuerdo con Succar (2010), las superposiciones de los campos BIM (ver figura 5) ocurren cuando se comparten actores y entregables entre sí. Estas superposiciones ocurren en dos casos. En el primer caso, la superposición toma lugar cuando un entregable requiere, en su ejecución, actores de dos o más campos. Mientras que, en el segundo caso, la superposición está dada debido a que un actor que pertenece a un campo genera entregables que, por clasificación, pertenecen a otro campo. Las superposiciones son de vital importancia puesto que permiten separar los entregables y requerimientos a manera de analizar por qué se están ejecutando, quién los solicita y quién los provee.

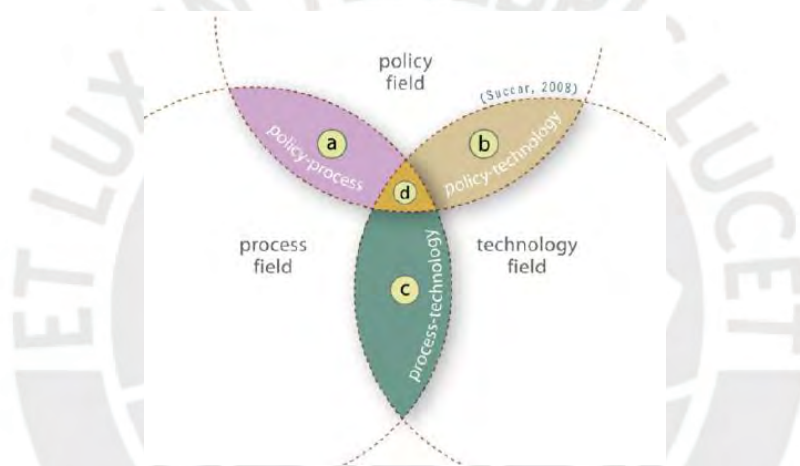


Figura 5. Superposición de campos BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

A manera de ejemplo, se puede detallar cada una de las superposiciones. En la superposición Políticas-Procesos (superposición “a” de la figura 5), se encuentran los organismos de la Industria (como actores BIM) y la capacitación del desarrollo profesional continuo (como entregable BIM). Estos organismos de la Industria no deben ser confundidos con la Industria. La industria en sí es un término abstracto que se puede operacionalizar a través de los actores (clientes, gobierno, constructoras, proveedores, universidades, colegios profesionales, etc.). Como ejemplo, se puede señalar el caso del Instituto Australiano de Arquitectos, organismo de la Industria cuyos miembros son actores del Campo de Procesos, pero generan entregables del Campo de Política (documentos

guía y mejores prácticas) y no entregables de su mismo campo (diseño y detalles de construcción) (Succar, 2009). En la superposición Políticas-Tecnologías (superposición “b”), se encuentran los estándares de interoperabilidad (como entregable BIM). En la superposición Procesos-Tecnología (superposición “c”), se encuentran las comunidades de práctica (como actores BIM). Finalmente, en la superposición Políticas-Procesos-Tecnología (superposición “d”), se encuentran la implementación BIM (como entregable BIM) y los especialistas BIM (como actores BIM).

2.2.1.2 Etapas BIM

Las etapas BIM son la segunda dimensión del modelo triaxial del marco de trabajo BIM. De acuerdo con Succar (2009), en esta etapa, se observan los campos BIM (Tecnologías, Procesos y Políticas) desde una perspectiva escenificada por hitos de desempeño. Estos hitos de desempeño son claves y pueden ser alcanzados a medida que las organizaciones y mercados adoptan las herramientas, flujo de trabajo y protocolos pertenecientes a BIM de manera gradual y continua. Los hitos de desempeño pertenecientes a las etapas BIM identifican desde el estado de pre-implementación BIM hasta un punto final de máxima implementación BIM con recursos tecnológicos avanzados, pasando por tres etapas en el proceso de implementación como se puede observar en la figura 6.



Figura 6. Etapas BIM. Adaptado de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.2.1 Etapa pre-BIM



Figura 7. Estado pre-BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

En el estado pre-BIM, la información del proyecto está centrada en la documentación 2D. La Empresa u organización presenta baja inversión en tecnología y existe falta de interoperabilidad (GCR, 2004). Con respecto a los entregables, si bien algunos modelamientos en 3D son generados, estos no están del todo completos y dependen de la documentación 2D para su integridad. En cuanto a los cálculos pertenecientes a un proyecto de construcción, los metrados, costos estimados y especificaciones no son generados por medio de ningún software. En cuanto a la colaboración entre los stakeholders (trabajo colaborativo), esta no es priorizada, lo cual lleva a un flujo de trabajo lineal y asíncrono.

2.2.1.2.2 Etapa BIM 1: Modelado basado en objetos



Figura 8. Etapa BIM 1. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

En la etapa BIM 1, se da inicio a la implementación BIM mediante el uso de algún software que permita el modelado 3D (ArchiCAD, Revit, Tekla, entre otros) para empezar a generar modelos de una sola disciplina dentro de cualquier fase del ciclo de vida del proyecto, ya sea diseño,

construcción u operación (Succar, 2009). Con respecto a los entregables, estos están destinados a poder automatizar la generación y coordinación de la documentación 2D con la visualización 3D. En cuanto a la colaboración entre stakeholders, las prácticas dentro de la organización siguen siendo similares a la etapa pre-BIM y no existe intercambios de modelos interdisciplinarios. Sin embargo, existe un impulso en la resolución temprana y detallada de diseño y construcción mediante el modelo 3D, lo cual fomenta un “continuo seguimiento” de las fases del ciclo de vida del proyecto entre los stakeholders (ver figura 9) pese a que las fases del proyecto aún son ejecutadas individualmente.



Figura 9. Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 1. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

De acuerdo con Succar (2009), el “continuo seguimiento” del proyecto lleva a los stakeholders a reconocer los potenciales beneficios de acoplar su trabajo a manera de equipo. Dicha evolución gradual será la que lleve a los actores a la siguiente etapa BIM: colaboración basada en el modelo.

2.2.1.2.3 Etapa BIM 2: Colaboración basada en el modelo

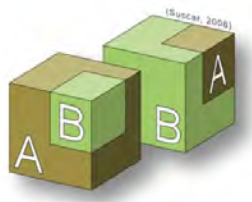


Figura 10. Etapa BIM 2. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

En la etapa BIM 2, se logra la colaboración activa (ya no es asincrónica) de actores interdisciplinarios mediante softwares del mismo propietario (intercambios de modelado 3D entre archivos de Revit Arquitectura y Estructuras, por ejemplo) o en un formato no propietario (intercambio de archivos ArchiCAD y Tekla mediante el formato IFC). En cuanto a los entregables, dado que los intercambios basados en modelos 3D aumentan, estos comienzan a reemplazar los antiguos flujos de trabajo basados en documentos 2D (Succar, 2009). En la figura 11, se puede observar cómo es que la capacidad obtenida en esta etapa BIM 2 altera el nivel de detalle del modelado en la fase inicial del ciclo de vida del proyecto. A medida que los modelos de construcción elevan su detalle, estos reemplazarán parcial o totalmente a los anteriores modelos de diseño que contaban con menor detalle. Esto pues los actores de la fase de construcción aumentan sus requerimientos en la etapa BIM 2 en cuanto a servicios de diseño y los involucrados dedicados al diseño añaden dichas solicitudes a sus anteriores modelos.



Figura 11. Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 2. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.2.4 Etapa BIM 3: Integración basada en la red

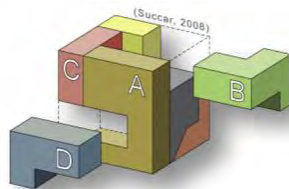


Figura 12. Etapa BIM 3. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

En la etapa BIM 3, los modelos 3D integrados y ricos en información son creados y compartidos colaborativamente a través de todas las fases del proyecto mediante servidores tecnológicos (usando formatos propietarios o no propietarios) y empleando una base de datos federada o mediante Saas (“Software as a Service” por sus siglas en inglés). En cuanto a los entregables, los modelos son interdisciplinarios y permiten el análisis complejo inclusive dentro de una etapa inicial del proyecto. Las propiedades de los objetos se vuelven más complejas y permiten incluir principios de Lean Construction, políticas ecológicas y costos de todo el ciclo de vida del proyecto. En la figura 13, se puede observar que los intercambios sincrónicos de modelado y datos del proyecto permiten que las fases del ciclo de vida del proyecto se superpongan y formen un proceso sin fases permitiendo optimizar la constructibilidad, operatividad y seguridad.



Figura 13. Fases del ciclo de vida de un proyecto durante la etapa BIM 3. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

Finalmente, cabe señalar que existe una última etapa BIM llamada “post-BIM”. Esta etapa es observada como una meta en la implementación BIM y es alcanzada cuando la información del proyecto comienza a conectarse con otras bases de datos. Es entonces donde BIM se difunde dentro de otras tecnologías y sistemas de información, alcanzando un nivel de BIM muy avanzado.

2.2.1.2.5 Pasos BIM

El ascenso gradual y continuo de una organización en términos de etapas BIM se puede evaluar mediante los pasos BIM. De acuerdo con Succar (2010), los pasos BIM son los requerimientos previos, retos y entregables para poder alcanzar una etapa BIM en un proceso de adopción BIM.

Estos pasos BIM pueden ser identificados de acuerdo a su ubicación en las etapas BIM como se puede observar en la figura 14.

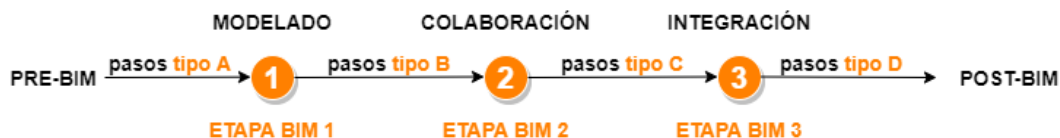


Figura 14. Pasos BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

Los pasos BIM pueden ser de 4 tipos: pasos tipo A (del estado pre-BIM a la etapa BIM 1), pasos tipo B (de la etapa BIM 1 a la etapa BIM 2), pasos tipo C (de la etapa BIM 2 a la etapa BIM 3) y pasos tipo D (los cuales son niveles de madurez para alcanzar el nivel post-BIM). El marco de trabajo BIM establece que los pasos BIM pueden ser subdivididos de acuerdo con los 3 campos BIM explicados anteriormente: Pasos de Tecnología, Pasos de Procesos y Pasos de Políticas. En la figura 15, se presentan estas subdivisiones de pasos BIM.

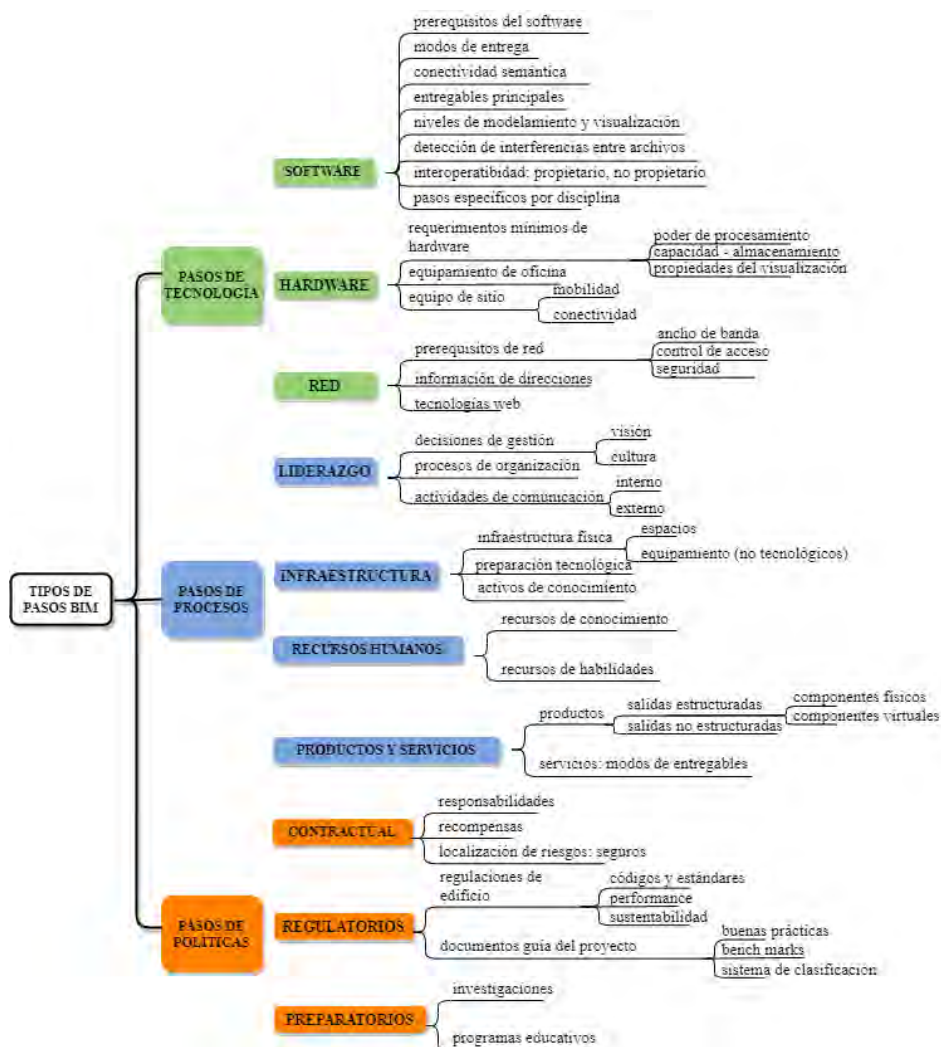


Figura 15. Tipos de pasos BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.3 Lentes BIM

De acuerdo con Succar (2009), los Lentes BIM (ver figura 16) representan la tercera dimensión del marco de trabajo BIM y son capas distintivas de análisis aplicadas a los campos BIM y etapas BIM para generar vistas de conocimiento que permitan abstraer el dominio BIM y controlar su complejidad al resaltar información de acuerdo con un criterio en específico o de interés (lentes BIM), o al filtrar detalles innecesarios (filtros BIM). Los lentes y filtros BIM se dividen en tres tipos: disciplinarios, de alcance y conceptuales.

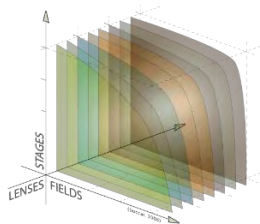


Figura 16. Lentes BIM. Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.3.1 Lentes y filtros disciplinarios

Los lentes y filtros disciplinarios generan vistas BIM por medio de la aplicación de campos de conocimiento. A manera de ejemplo, en la tabla 2 se presenta una lista de lentes y filtros disciplinarios BIM.

Tabla 2
Lista de lentes y filtros BIM

Lentes disciplinarios BIM	Filtros disciplinarios BIM
Gestión del Cambio	Cambio de mecanismos, incentivos...
Gestión de la Construcción	Planificación de proyectos, recursos...
Gestión de Datos	Estándares de datos, seguridad, flujos...
Gestión de Diseño	Liderazgo de diseño, comunicación, creatividad...
Gestión Financiera	Estrategias financieras, de control...
Gestión del conocimiento	Adquisiciones de conocimiento, representación...
Comportamiento Organizacional	Cultura organizacional, desarrollo, planeamiento...
Gestión del Proceso	Roles del proceso, procedimientos...
Gestión de Riesgos	Identificación de riesgos, mitigación...

Nota: Extraído de “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, por Succar, B., 2009.

2.2.1.3.2 Lentes y filtros de alcance

Los lentes y filtros de alcance permiten generar vistas de conocimiento cambiando la granularidad (nivel de detalle). Los lentes de alcance tienen 3 niveles de complejidad: lente macroscópico (amplia cobertura del tema pero poca en detalle), lente mesoscópico (cobertura, atención y detalle medio) y lente microscópico (cobertura reducida pero amplia en detalle). Por ejemplo, en el presente estudio, es importante implementar el lente de alcance aplicado a la jerarquía organizacional dentro de un mercado global. El lente BIM de alcance es aplicado en la tabla 3 y nos permite obtener un enfoque granular de cada nivel de análisis.

Tabla 3
Escalas organizacionales

Nivel	Índice	Nº	Nombre	Granularidad	Definición	
MACRO	M	1	Macro M	Mercado	Mundo del comercio donde bienes y servicios son vendidos y comprados	
		2	Meso M	Mercado definido	Pueden ser geográficos, geopolíticos o resultantes de acuerdos entre partes	
		3	Micro M	Sub-mercado	Pueden ser locales o regionales	
	I		4	Macro I	Industria	La acción organizada de fabricación de bienes y servicios para la venta. Puede atravesar mercados y pueden ser servicios, productos o basados en proyectos
			5	Meso I	Sector	Subconjunto de un mercado, sociedad, industria o economía cuyos componentes comparten características similares
			6	Micro I	Disciplina	Sectores de la industria. Sistemas de reglas de conducta
			7		Especialidad	Área de enfoque de conocimiento, producción o servicio
MESO	P	8	n/a	Equipos de proyectos	Temporales grupos de organizaciones con un objetivo	

MICRO	O	9	Macro O	Organización	Arreglo social que persigue objetivos colectivos
		10	Meso O	Unidad organizacional	Departamentos o unidades distribuidos geográficamente
		11		Equipo organizacional	Grupo de individuos asignados a realizar un set de actividades
		12	Micro O	Miembro organizacional	Puede ser parte de múltiples equipos organizacionales

Nota: Adaptado de “Measuring BIM performance: Five metrics.”, por Succar, B., Sher, W., & Williams, A., 2012.

2.2.1.3.3 Lentes y filtros conceptuales

Los lentes y filtros conceptuales son aplicados a las terminologías que se utilizan dentro del marco de trabajo BIM e incluyen: agentes, restricciones, entregables, equipamientos, entre otros. Es importante señalar que los filtros y lentes BIM se pueden aplicar cuantas veces sean necesarios hasta poder obtener la materia que se desee analizar o investigar.

2.3 Adopción BIM

De acuerdo con Succar y Kassem (2016), la adopción BIM es una terminología utilizada para describir el proceso evolutivo de implementación de las herramientas, buenas prácticas, leyes e innovaciones por parte de una unidad organizacional o actor BIM (individuos, grupos, mercados, organizaciones). Dependiendo del lente BIM que se utilice para el análisis, se pueden obtener distintos niveles granulométricos de análisis de adopción BIM. Un ejemplo es la Macro Adopción BIM, la cual es la adopción de BIM por parte de un mercado (lente macroscópico).

Para comprender el proceso de adopción BIM de un actor, es necesario involucrar la preparación organizacional, desarrollo de capacidades y difusión de la innovación dentro de un solo proceso de continua mejora de rendimiento del actor BIM evaluado. Sin embargo, previo a presentar un modelo que involucre estos factores (modelo del Punto de Adopción), es necesario, en primer lugar, delimitar dos conceptos importantes: Implementación BIM y Difusión BIM.

2.3.1 Implementación BIM

De acuerdo con Succar y Kassem (2015), el término “implementación BIM” se refiere a la noción de adquisición gradual de las innovaciones generadas por el empleo de las herramientas BIM por parte de un actor BIM en la realización de sus proyectos, entregables o procesos. Dado que el proceso de implementación BIM depende del propio ritmo y adecuación del nuevo adoptante, Succar y Kassem (2015) presentan un enfoque trifásico que permite describir, a mayor detalle, este proceso complejo: preparación BIM, capacidad BIM y madurez BIM. Es importante señalar que estos tres enfoques son independientes y no conforman ninguna secuencialidad.

2.3.1.1 Preparación BIM

La preparación BIM determina la fase previa a la implementación BIM e involucra la intención del nuevo adoptante por hacer uso de las herramientas y beneficios BIM. La medición de la preparación BIM es realizada en base a las actividades de planeamiento y preparación, los cuales pueden tener tres enfoques: productos generados (entregables), procesos desarrollados y madurez (calidad de trabajo).

2.3.1.2 Capacidad BIM

La capacidad BIM determina la adquisición de las herramientas y beneficios BIM en el trabajo realizado por un nuevo adoptante (también puede ser definida como la habilidad mínima de realizar un entregable medible). Esta es alcanzada posterior a una preparación BIM y es definida de acuerdo con las etapas BIM.

2.3.1.3 Madurez BIM

La madurez BIM determina la calidad, repetibilidad y grado de excelencia dentro de la capacidad BIM adquiridas por la unidad organizacional o actor BIM (Succar, 2010 Mayo). Esta puede ser expresada mediante 5 niveles: madurez baja, madurez medio-bajo, madurez media, madurez medio-alta y madurez alta. El ascenso entre los niveles de madurez BIM indica lo siguiente: (i) un mejor control al minimizar las variaciones entre resultados y objetivos de desempeño; (ii) un mejor

pronóstico al reducir la variabilidad en el desempeño y los costos; y (iii) una mayor efectividad en alcanzar metas definidas y definir otras más ambiciosas (Lockamy & McCormack, 2004) (McCormack, Ladeira & Oliveira, 2008).

2.3.2 Difusión BIM

De acuerdo con Succar y Kassem (2015), en contraste con la “implementación BIM”, la cual describe la adopción exitosa de un sistema (BIM en este caso) por parte de un actor BIM, el término “difusión BIM” está referido a la difusión del mismo sistema dentro de una unidad organizacional o actor BIM. Esto significa que la difusión BIM es aplicable luego de la fase de preparación BIM, cuando ya se haya adoptado el mínimo de capacidad BIM.

2.3.3 Modelo del Punto de Adopción

El modelo del Punto de Adopción es empleado para describir el proceso de adopción BIM por parte de un actor BIM, desde la fase de preparación BIM a una etapa o nivel de implementación BIM mayor, independiente de la madurez BIM que pueda presentar en el proceso (Succar, & Kassem, 2015).

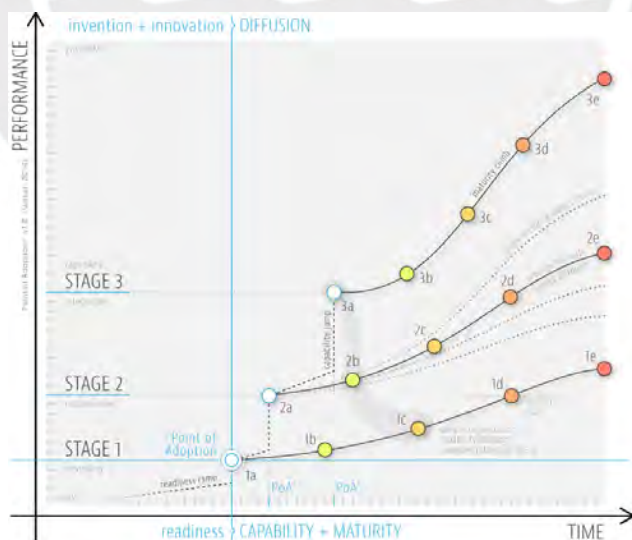


Figura 17. Modelo del Punto de Adopción. Extraído de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Como se puede observar en la figura 17, el Punto de Adopción (“Point of Adoption”) determina el inicio del proceso de adopción BIM, previamente existiendo una etapa de preparación y planeamiento para dicho fin (preparación BIM). En términos del marco conceptual BIM, el Punto de Adopción marca el primer “salto de capacidad” de una etapa pre-BIM a una etapa BIM 1, etapa en donde se adquiere la mínima capacidad BIM. De esta misma manera, las etapas BIM 2 y 3 son alcanzadas mediante los saltos de capacidad que se requieran en cada caso. Cabe señalar que dichos saltos no son opcionales, sino necesarios y obligatorios, dado que son conformados por los pasos BIM presentados anteriormente, los cuales incluyen inversión considerable y progresiva en tecnología, procesos y políticas dentro del proceso de adopción BIM del actor BIM.

2.3.4 Taxonomía de Adopción BIM

Ahmed y Kassem (2018) proponen una taxonomía de adopción BIM, la cual identifica tres niveles (impulsores, factores y determinantes) que describen las influencias bajo las que está sometido un actor BIM y su decisión en adoptar o no dicha metodología innovativa. Esta investigación fue realizada mediante la revisión de literatura de 3110 papers a través de Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Ethos. El primer nivel de la taxonomía identifica a tres grupos de impulsores: las percepciones innovativas BIM, las características del entorno externo e interno (ver tabla 4).

Tabla 4
Taxonomía de adopción BIM

Percepciones innovativas BIM	Características del entorno externo	Características del entorno interno
Utilidad percibida	Presiones coercivas	Soporte de alta gerencia
Facilidad de uso percibido	Presiones miméticas	Comunicación interna
Ventajas relativas	Presiones normativas	Recursos financieros
Compatibilidad	Sistema de procura	Preparación organizacional
Complejidad		Motivación social
Testeo		Cultura organizacional
Observabilidad		Disponibilidad / intención
Factores tecnológicos		Estructura de organización

Nota: Adaptado de “A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application.”, por Ahmed, A. L. y Kassem, M., 2018.

Cada impulsor está conformado por una lista de factores, cada uno de los cuales representa un grupo de determinantes. Estos determinantes son evaluadores que permiten analizar e identificar los factores más significativos que influyen en el proceso de adopción BIM de un actor.

2.3.4.1 Percepciones innovativas BIM

Las percepciones o características innovativas BIM presentan ocho factores principales. En la tabla 5, se presentan los principales determinantes dentro de cada factor. Es importante señalar que los resultados mediante la evaluación de estos determinantes son relativos ya que proceden de la percepción y experiencia distinta de cada usuario.

Tabla 5
Factores y determinantes de las Percepciones Innovativas BIM

Factores	Determinantes
Utilidad percibida	Mejora de la satisfacción laboral Mejora de los resultados laborales Mejora de la productividad laboral
Facilidad de uso percibido	Conveniencia de los procesos BIM Facilidad de obtener resultados esperados con BIM Reconocimiento personal sobre la facilidad de los procesos BIM
Ventajas relativas	Ventajas generales en los roles de trabajo Reducción efectiva de riesgos Reducción de costos
Compatibilidad	Facilidad de implementación en un proceso existente Compatibilidad de BIM con los roles de trabajo Compatibilidad de BIM con el estilo de trabajo
Complejidad	Expectativa de procesos de trabajos más suaves con BIM Facilidad de aprender BIM Desafío de compatibilidad
Testeo	Posibilidad de probar BIM previa implementación Posibilidad de evaluar reducción de riesgos con BIM previa implementación

Nota: Adaptado de “A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application.”, por Ahmed, A. L. y Kassem, M., 2018.

2.3.4.2 Características del entorno externo

Las características del entorno externo presentan cuatro factores principales. En la tabla 6, se presentan los principales determinantes para cada factor.

Tabla 6

Factores y determinantes de las Características del Entorno Externo

Factores	Determinantes
Presiones coercivas	Presión formal o informal ejecutadas por el Gobierno Regulaciones, políticas y estándares de la Industria Mandatos del Gobierno
Presiones miméticas	Imitación de buenas prácticas del mercado Buenas prácticas para la implementación de constructibilidad Prácticas de asociaciones de la Industria
Presiones normativas	Normas contractuales Estrategias de competencia y globalización Benchmarking para una mejora continua
Sistema de procura	Cadena de suministro Actores de la Empresa Stakeholders

Nota: Adaptado de “A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application.”, por Ahmed, A. L. y Kassem, M., 2018.

Los factores y determinantes presentados en el anterior cuadro están netamente ligados a la Industria AEC y a la influencia que tienen sobre la adopción BIM. Para su mayor comprensión, a continuación, se presentan las presiones isomorfas y una breve explicación del sistema de procura.

2.3.4.2.1 Presiones isomorfas

De acuerdo con DiMaggio y Powell (1983), las presiones isomorfas son influencias que rigen sobre las organizaciones mediante normas y comportamientos establecidos socialmente con el fin de ser aceptadas, ser estructuralmente congruentes con el ambiente institucional y obtener legitimidad institucional. Según Scott (2001), esta legitimidad es determinada mediante el comportamiento, actitud y aceptación de las organizaciones frente a estas reglas sociales, las cuales pueden ser formales (regulaciones) o informales (creencias o convenciones).

Existen dos tipos de presiones isomorfas: competitivas e institucionales. Por un lado, las presiones isomorfas competitivas están definidas por las presiones ejercidas por el mercado (oferta y demanda) y son las que conducen a las organizaciones a una similitud entre ellas. Las presiones isomorfas institucionales, por otro lado, están relacionadas con la interacción y competencia entre organizaciones para lograr legitimidad política e institucional, así como también una posición en el mercado. Estas últimas son las presiones isomorfas de importancia para esta tesis ya que nos describe la influencia de las organizaciones sobre la adopción BIM. Dentro de las presiones isomorfas institucionales, existen tres tipos: regulatorias, miméticas y normativas.

2.3.4.2.1.1 Presiones regulatorias

De acuerdo con DiMaggio y Powell (1983), las presiones regulatorias son influencias, ya sean del tipo formal o informal, que una organización ejerce sobre otra, siendo esta última dependiente de primera. Los cuerpos regulatorios o asociaciones de la Industria son actores de la Industria que fomentan este tipo de presiones. Ejemplos de estas organizaciones son el Gobierno y sus organizaciones afiliadas.

Las presiones regulatorias ejercidas por el Gobierno y/o sus afiliados son particulares de cada país o ciudad. Por ejemplo, en China, el Gobierno promueve el uso de tecnologías innovadoras en proyectos de alta influencia (como son los rascacielos) para así poder obtener modelos proyectados antes de que sean construidos y ser exhibidos en ferias de exposición (Xu, Tiong, Chew, & Smith, 2005). Estas actividades autoritarias influyen en la actitud por parte de los clientes, dueños del proyecto y stakeholders, lo cual favorece la percepción y adopción BIM nacional (a un nivel de macro adopción).

2.3.4.2.1.2 Presiones miméticas

De acuerdo con DiMaggio y Powell (1983), las presiones miméticas son influencias que llevan a las organizaciones a imitar conductas de otras organizaciones del mismo rango (presión horizontal o del mismo nivel entre organizaciones). Esta presión es originada debido a la mala implementación BIM, falta de experiencia, dificultad de acoplarse a la nueva metodología, entre

otros. Como resultado, las organizaciones comparan su desempeño con otras organizaciones similares e imitan sus conductas o prácticas que aparentan ser legítimas y progresivas.

La presión mimética influye dentro de varios stakeholders de un proyecto de construcción de manera distinta (Cao, Li, & Wang, 2014). Por un lado, el Cliente o dueño de un proyecto es influenciado por este tipo de presión dado que no desea perder legitimidad frente a otras empresas del entorno. Los diseñadores y contratistas, por otro lado, al mantener la legitimidad de la empresa imitando las conductas de proyectos similares, se benefician ellos mismos manteniendo su competitividad en proyectos futuros.

2.3.4.2.1.3 Presiones normativas

De acuerdo con DiMaggio y Powell (1983), las presiones normativas son influencias de carácter profesional a través de normas que son gradualmente creadas por cuerpos profesionales y que determinan comportamientos deseables. Estas normas son usualmente compartidas en diversos eventos académicos, tales como conferencias, charlas o asociaciones. Dado que BIM está desarrollado en un ambiente profesional, las organizaciones gradualmente adoptan estas normas y las ajustan a su entorno.

La influencia de las presiones normativas puede ser observada por medio del rol de diversos actores de la Industria. En primer lugar, los gobiernos, como en el caso de la ciudad de Shanghai, al implementar sus reglamentos de uso BIM, promulgan indirectamente normas de correcto uso de BIM mediante talleres o exhibiciones públicas en donde se muestren los beneficios de BIM (Cao et al., 2014). En segundo lugar, las universidades y consultoras también ejercen esta presión normativa, pues la realización de conferencias, cursos de training y certificaciones profesionales fomentan la buena conducta y uso de BIM. Finalmente, el Cliente o dueño del proyecto también ejerce esta presión normativa al conocer sobre el valor y beneficios otorgados por las herramientas BIM implementadas en proyectos similares.

2.3.4.2.2 Sistema de procura

BIM no solamente es sinónimo de innovación en tecnología, sino también y principalmente es caracterizado por su gran complejidad estructural y organizacional. La transición gradual entre etapas BIM y madurez BIM de una organización amerita cambios en su cadena de suministro y sistema de procura. BIM debe ser implementado en la organización y sus empresas relacionadas con el fin de generar reducción de costos, tiempo y facilitar el flujo de trabajo. Además, debe contar con un apoyo sólido por parte del Cliente o dueño del proyecto, los cuales, durante su propio proceso de adopción a la nueva metodología, están influenciados bajo presiones isomorfas de la Industria.

De acuerdo con Liang, Saraf, Hu y Xue (2007), los clientes o dueños de un proyecto de construcción poseen una gran influencia durante la toma de decisiones durante cualquier fase del ciclo de vida de un proyecto, ya sea diseño, construcción u operación. Esta influencia, sumada a la capacidad que este actor posee en la decisión de implementar BIM en un proyecto, se ve impulsada de tres principales maneras. En primer lugar, mediante la inversión en implementación BIM. Los costos que requieren son importantes y, en algunos casos, tan elevados que pueden impedir su uso en un proyecto de construcción (Eadie, Browne, Odeyinka, McKeown, & McNiff, 2013). En segundo lugar, mediante el incentivo laboral. Dado el carácter innovador de la metodología BIM, este requerirá de ajustes en el flujo de trabajo tradicional de la organización. Finalmente, mediante cambios organizacionales en la Empresa. Con la implementación BIM en una organización, nuevos roles y equipos de trabajo son formados, y, por ende, se requiere de su correcta distribución para establecer un flujo de trabajo eficiente.

2.3.4.3 Características del entorno interno

Las características del entorno interno presentan ocho factores principales. En la tabla 7, se presentan los principales determinantes para cada factor.

Tabla 7

Factores y determinantes de las Características del Entorno Interno

Factores	Determinantes
Soporte de alta gerencia	Estilo de liderazgo del proyecto Innovación, actitud y conocimiento del CEO Intervención el CEO
Comunicación interna	Efectividad del flujo de información Factores demográficos Relación entre diferentes partes
Recursos financieros	Costo de implementación Recursos financieros de la organización Recursos financieros dedicados a la tecnología
Preparación organizacional	Entrenamiento profesional BIM Capacidad de innovación Capacidad tecnológica de la organización
Motivación social	Motivación individual y grupal hacia la adopción BIM Motivación a las personas hacia los nuevos cambios Actitud hacia el tipo de innovación
Cultura organizacional	Ambiente apto Adaptabilidad organizacional al mercado Estilo de gestión corporativa
Disponibilidad / intención	Nivel de interés comercial Necesidad de innovación Incentivos para la adopción
Estructura de organización	Complejidad y tamaño completo de la estructura organizacional Tamaño del departamento de sistema de información

Nota: Adaptado de “A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application.”, por Ahmed, A. L., Kassem, M., 2018.

2.3.5 Primer Estudio de Adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao – 2017

El Primer Estudio de Adopción en Lima Metropolitana y Callao fue conducido por el ing. Danny Murguía y dos asistentes de investigación con el objetivo de investigar sobre el uso de BIM a nivel de proyectos de construcción (Murguía, Tapia & Collantes, 2017). El trabajo de campo se realizó entre los meses de octubre y diciembre del año 2017 mediante una encuesta realizada a los responsables de los proyectos (ingenieros residentes, gerentes de proyecto o jefes de campo) de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y Callao. La muestra total fue de 323 profesionales.

A continuación, se presentan los principales hallazgos obtenidos que guardan relación con la presente tesis.

2.3.5.1 Concepto BIM

En esta sección, se evaluaron 4 definiciones de BIM. Los resultados obtenidos (ver figura 18) resaltan que la mayoría de encuestados observa a BIM como una herramienta que permite el trabajo colaborativo.

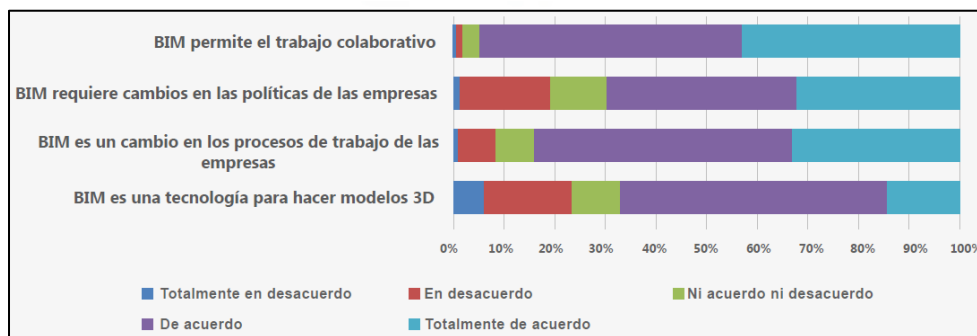


Figura 18. Concepto BIM. Extraído de "Primer Estudio de Adopción en Lima Metropolitana y Callao", por Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J., 2017.

2.3.5.2 Percepciones sobre BIM en la Industria y contexto peruano

En esta sección, se evaluó la influencia de la Industria y del contexto de los proyectos sobre la difusión BIM mediante 9 afirmaciones. Los resultados obtenidos (ver figura 19) muestran la gran percepción de los beneficios que genera la implementación BIM sobre el usuario final de la vivienda y sobre el dueño del proyecto. Además, se afirma que BIM tendrá un mayor beneficio si es adoptado por otras empresas (p.e. cadena de suministro) y también que se requiere de asesorías para su implementación.

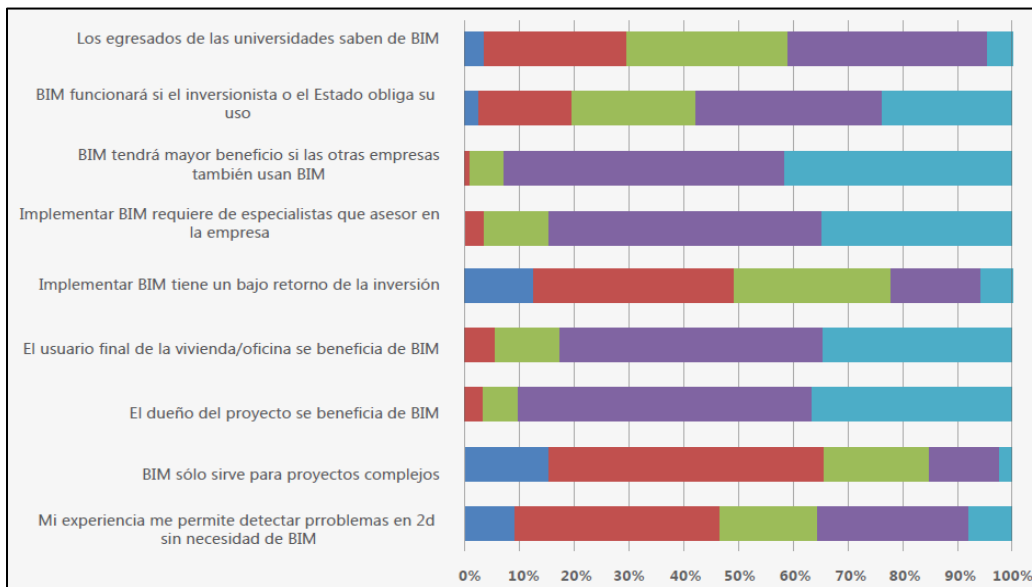


Figura 19. Percepciones sobre BIM en la Industria y contexto peruano. Extraído de "Primer Estudio de Adopción en Lima Metropolitana y Callao", por Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J., 2017.

2.3.5.3 Aceptación de BIM

En esta sección, se evaluó la actitud y percepción de los usuarios sobre BIM mediante 9 afirmaciones. Los resultados obtenidos (ver figura 20) muestran una mayor expectativa de los beneficios y características innovativas BIM. Además, se obtuvo que BIM no es una herramienta fácil de implementar de acuerdo con los resultados obtenidos por 3 afirmaciones que evalúan su complejidad.

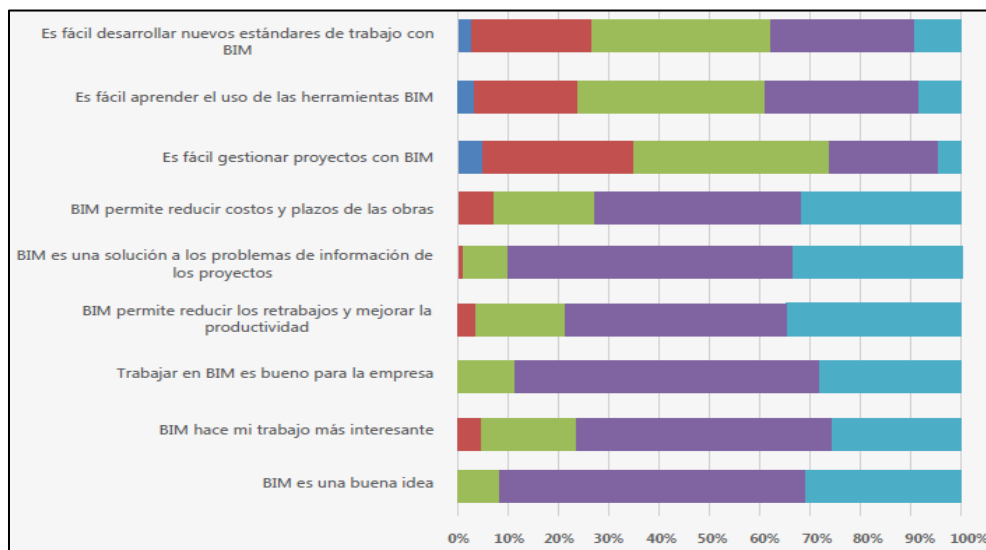


Figura 20. Aceptación de BIM. Extraído de "Primer Estudio de Adopción en Lima Metropolitana y Callao", por Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J., 2017.

2.3.5.4 Apoyo de la empresa

En esta sección, se evaluó el apoyo sostenido por la Gerencia de una empresa en la adopción BIM. De los resultados obtenidos (ver figura 21), la mayor parte de los encuestados (90% del total) destacan la importancia del apoyo de la Gerencia en la implementación BIM y su poca predisposición ante la implementación de BIM en el proyecto.

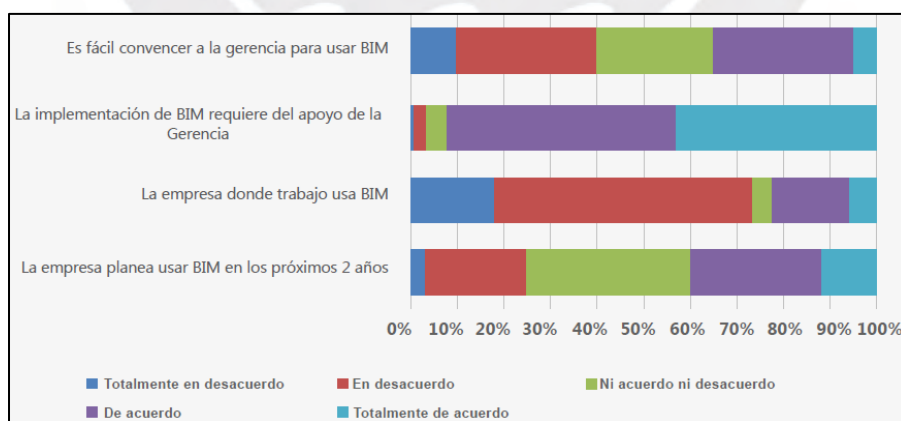


Figura 21. Apoyo de la Empresa en la adopción BIM. Extraído de "Primer Estudio de Adopción en Lima Metropolitana y Callao", por Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J., 2017.

CAPÍTULO 3. MACRO ADOPCIÓN BIM

3.1 Introducción

El término “Macro Adopción BIM” está referido a la implementación y difusión BIM a través de un mercado completo, ya sea un país o conjunto de países (Succar & Kassem, 2015). El estudio de adopción BIM a este nivel de jerarquía organizacional es importante debido a la falta de metodologías que permiten asistir, evaluar y comparar las políticas BIM ya existentes en diversos países. De acuerdo con Kassem y Succar (2017), debido a la falta de investigación con respecto a la adopción BIM a nivel macro, las encuestas comerciales nacionales han sido, hasta el momento, las fuentes principales de información con respecto a BIM en los países. La información incluida en estos medios incluye tanto reportes de la Industria y de los desarrolladores de software, como también encuestas de mercado. Si bien estos estudios presentan una visión importante de la adopción BIM dentro de los mercados, estas no están destinadas a evaluar ni comparar las políticas BIM nacionales existentes ni tampoco permiten asistir a los stakeholders y formuladores de política en crear nuevos reglamentos. Por esta razón, Succar y Kassem (2015) presentan los modelos de macro adopción BIM, los cuales permiten abordar esta brecha de investigación y de análisis a este nivel de jerarquía organizacional.

3.2 Modelos de macro adopción BIM

De acuerdo con Succar y Kassem (2015), los modelos de macro adopción BIM son estructuras conceptuales que describen la manera en cómo la adopción BIM es ejercida por un país o conjunto de países. Estos modelos aplican representaciones gráficas con el fin de descomponer el sistema completo en pequeños subsistemas de menor complejidad y mayor entendimiento. Al realizar esta descomposición, los nuevos subsistemas otorgan un conjunto de herramientas que permiten evaluar y desarrollar políticas BIM, lo cual, a su vez, incentiva la implementación BIM y facilita la difusión BIM. A continuación, se presentan los 5 modelos de macro adopción BIM desarrollados por Succar y Kassem.

3.2.1 Modelo A: Áreas de Difusión

El modelo A de macro adopción BIM (ver figura 22) explica la interacción entre los 3 Campos BIM (Tecnología, Procesos y Políticas) Y las 3 Etapas BIM (Modelado, Colaboración e Integración). De esta interacción, se generan nueve áreas de difusión presentadas en la tabla 8.

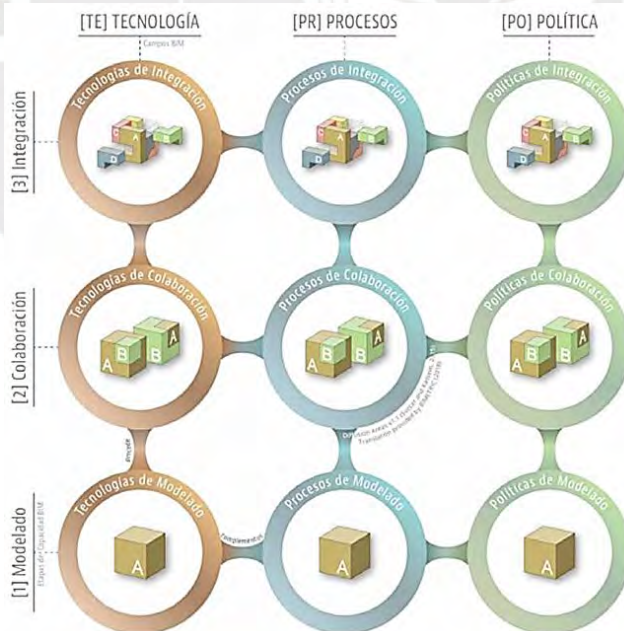


Figura 22. Modelo A de macro adopción BIM. Adaptado de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Tabla 8
 Áreas de Difusión - modelo A de macro adopción BIM

	Campo De Tecnología	Campo De Procesos	Campo De Políticas
Etapa BIM 1: Modelado	Adopción de softwares BIM dentro de la empresa (Revit, Tekla, etc)	Adopción de roles BIM dentro de la empresa (p.e. Modelador BIM, Coordinador BIM) y flujos de modelado basado en el objeto	Adopción de estándares de modelado (p.e. nomenclaturas, nivel de detalle, layers, etc.) y protocolos de intercambio de archivos
Etapa BIM 2: Colaboración	Adopción de software para colaborar entre empresas (Navisworks, Revizto, etc)	Adopción de roles BIM entre empresa (p.e. BIM Manager) y flujos de modelado multidisciplinarios)	Adopción de estándares de modelado y protocolos de colaboración. Contratos basados en colaboración. Programas educacionales
Etapa BIM 3: Integración	Adopción de servidores y entornos compartidos de datos para el intercambio de información en tiempo real	Adopción de procesos integrados en la cadena de suministro, entre disciplinas y a lo largo de todas las etapas del proyecto (desde el diseño hasta la operación)	Adopción de estándares para integrar a la cadena de suministro. Contratos basados en colaboración. Programas educacionales multidisciplinarios.

Nota: Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguía, D., 2019.

3.2.2 Modelo B: Componentes de Macro Madurez

El modelo B de macro adopción BIM (ver figura 23) identifica 8 componentes complementarios para medir y establecer la madurez BIM en los países detallados en la tabla 9.

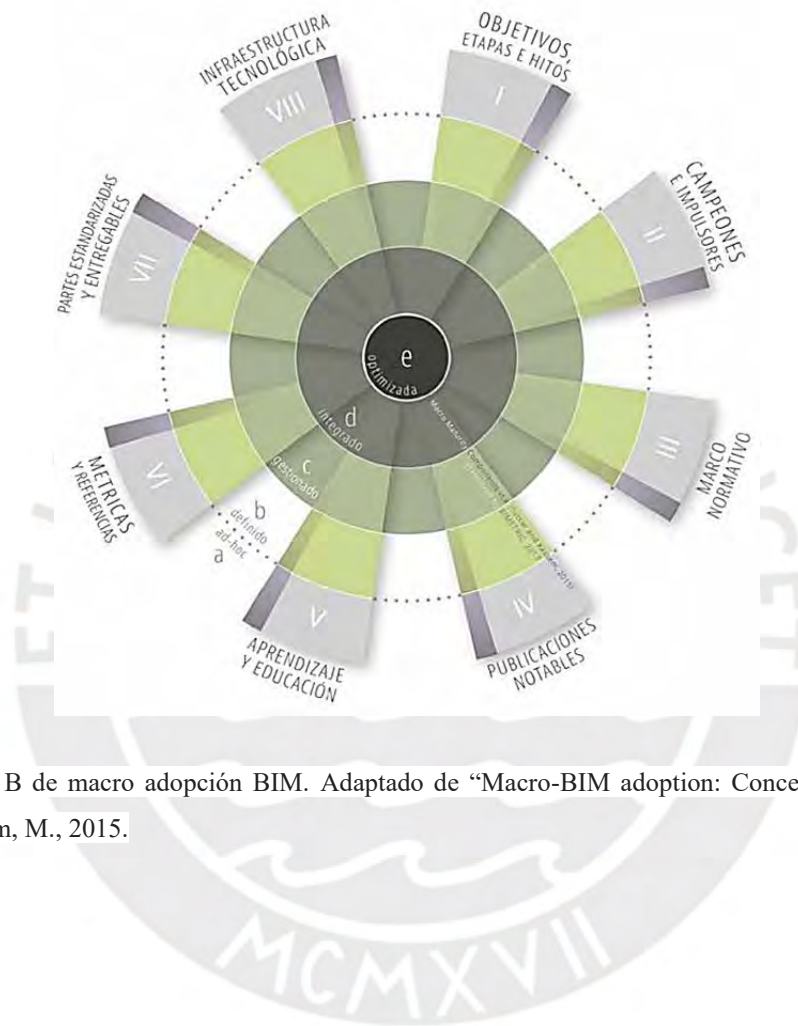


Figura 23. Modelo B de macro adopción BIM. Adaptado de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Tabla 9
Representación de los componentes de macro madurez

Componente De Macro Madurez	Representación
Objetivos, Etapas e Hitos	Disponibilidad de políticas BIM, etapas BIM e hitos mensurables de madurez que define el estado actual y el estado futuro.
Campeones e Impulsores	Individuos, grupos u organizaciones bajo la responsabilidad de demostrar la eficacia de BIM a la población de usuarios potenciales. Los campeones BIM son “adoptadores tempranos”, los cuales promueven nuevos estándares y procesos. Los impulsores BIM son designados por los creadores de políticas a medida de estrategia BIM.
Marco Normativo	Disponibilidad de un ambiente contractual, derechos de propiedad intelectual y responsabilidad profesional en ambientes BIM colaborativos sobre los modelos compartidos, procesos colaborativos y protocolos descriptivos con el fin de clarificar los derechos y responsabilidades de los actores de un proyecto.
Publicaciones Notables	Disponibilidad de documentos públicos de relevancia (Publicaciones Notables) desarrollados por stakeholders con influencia en la Industria. Pueden ser grupos de conocimiento (guías, protocolos, mandatos) o etiquetas de conocimiento (reportes, manuales y contratos).
Aprendizaje y Educación	Existencia de actividades educativas nacionales que engloben los conceptos, herramientas y flujos de trabajo BIM a cargo de las universidades, capacitadores, consultores, asociaciones de Industria, etc.
Métricas y Referencias	Disponibilidad de métricas, ya sean nacionales o internacionales, para medir los resultados de proyectos y capacidades de personas, equipos y empresas en la Industria.
Partes Estandarizadas y Entregables	Existencia de objetos estandarizados empleados por los equipos del proyecto para crear modelos BIM (p.e. muros, vigas, puertas, equipamientos, etc.).
Infraestructura Tecnológica	Disponibilidad y accesibilidad de hardware BIM, software BIM y sistema de redes a un precio accesible.

Nota: Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguía, D., 2019.

3.2.3 Modelo C: Dinámica de Macro Difusión

El modelo C de macro adopción BIM (ver figura 24) aclara cómo se ha iniciado BIM en cada país y cómo se difunde en la población de adoptadores BIM a través de tres dinámicas de difusión (descendente, radial y ascendente) y tres tipos de presiones isomorfas (coercivas, normativas y miméticas). Estas dinámicas de difusión y presiones isomorfas son combinadas y detalladas en la tabla 10.

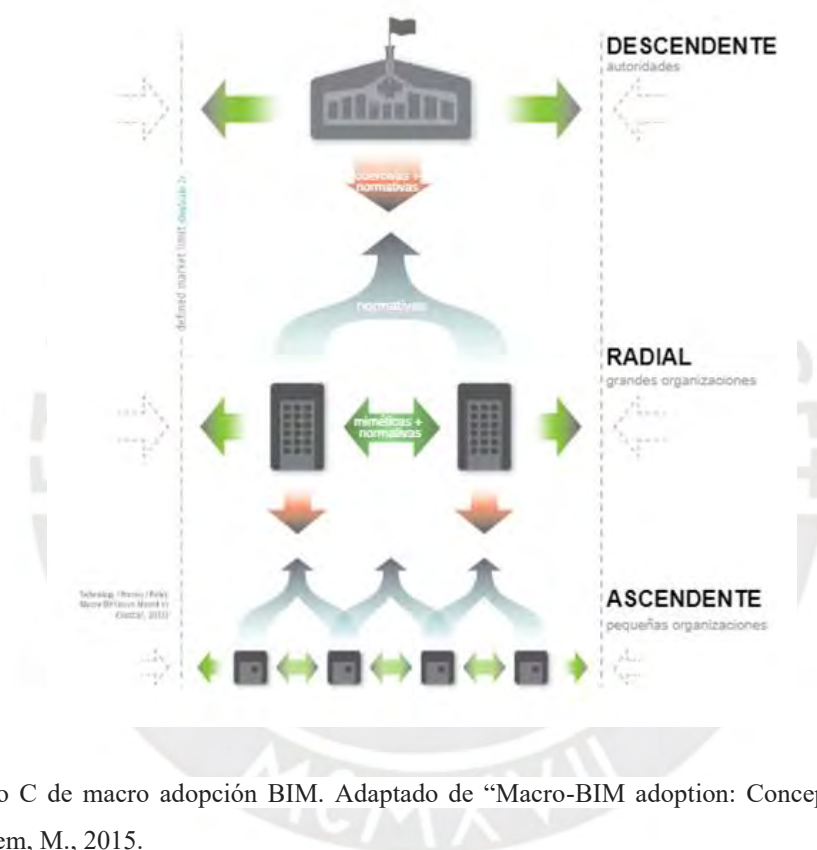


Figura 24. Modelo C de macro adopción BIM. Adaptado de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Tabla 10
Matriz de dinámicas de difusión

Dinámica de difusión	Actor institucional (emisor)	Mecanismo de presión	Adoptador potencial (receptor)	Tipo de presión isomorfa
Descendente	Gobierno o cuerpos reguladores	Hacia abajo	Todos los actores de la Industria que ejercen presión bajo influencia de la autoridad	Coercivas; normativas
		Horizontal	Gobiernos y autoridades en otros mercados	Miméticas
Radial	Empresas grandes o asociaciones de la Industria	Hacia abajo	Empresas dentro de la cadena de suministro. Miembros de asociaciones de la Industria	Coercivas; normativas; miméticas
		Hacia arriba	Gobierno y cuerpos reguladores dentro de un mercado	Normativas
		Horizontal	Otras empresas grandes	Miméticas; Normativas
Ascendente	Empresas pequeñas	Hacia arriba	Empresas más grandes y asociaciones de la Industria	Normativas
		Horizontal	Otras empresas pequeñas	Miméticas; Normativas

Nota: Adaptado de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

3.2.4 Modelo D: Acciones de Formuladores de Política

El modelo D de macro adopción BIM (ver figura 25) identifica las acciones que los formuladores de política realizan para influenciar la macro adopción BIM. Este modelo identifica tres tipos de

actividades (comunicar, participar y supervisar) y tres tipos enfoques políticos (pasivo, activo y asertivo). La combinación de estas actividades y tipos de enfoques generan nueve acciones políticas, las cuales representan distintos niveles de involucramiento de los formuladores de política en la facilitación de la adopción BIM y son presentadas en la tabla 11.

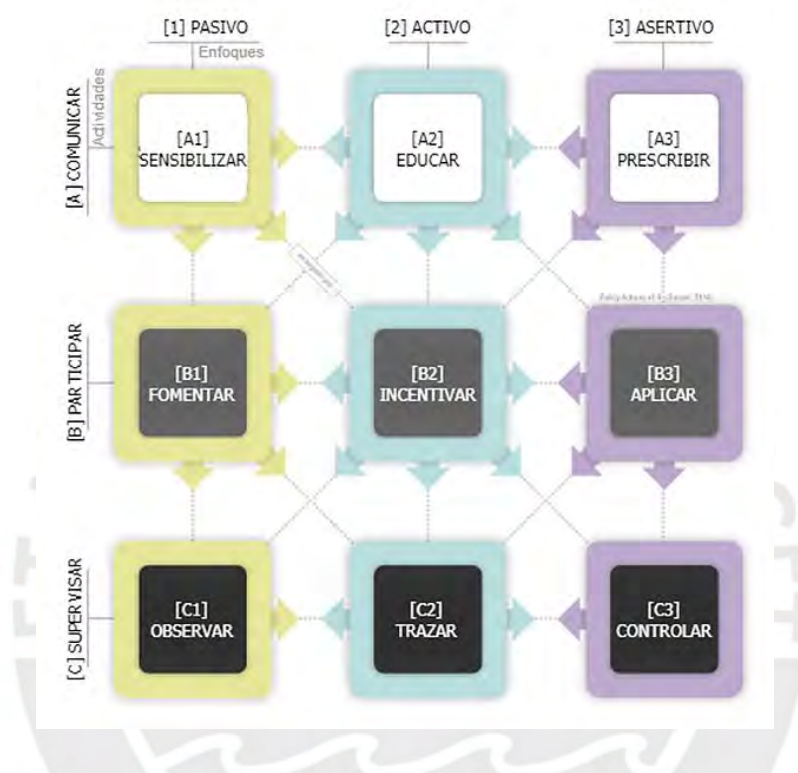


Figura 25. Modelo D de macro adopción BIM. Adaptado de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Tabla 11
Acciones de formuladores de política

Actividades	Enfoque		
	Pasivo	Activo	Asertivo
Comunicar	Sensibilizar: Los formuladores de política informan a los stakeholders de los beneficios y la importancia de BIM a través de una comunicación formal e informal.	Educar: Los formuladores de política generan guías informativas para educar a los stakeholders con respecto a los entregables, requerimientos y flujo de trabajo BIM.	Prescribir: Los formuladores de política detallan el proceso exacto que deben seguir los stakeholders para adoptar BIM.
	Participar	Fomentar: Los formuladores de política conducen workshops y eventos de networking para incentivar a los stakeholders de adoptar BIM.	Incentivar: Los formuladores de política proveen incentivos económicos y tratamientos preferenciales a los stakeholders que adoptan BIM.
Supervisar	Observar: Los formuladores de política observan si los stakeholders han adoptado BIM.	Trazar: Los formuladores de política monitorean cómo/si BIM es adoptado por los stakeholders.	Controlar: Los formuladores de política establecen estándares obligatorios con relación a la adopción BIM.

Nota: Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguia, D., 2019.

3.2.5 Modelo E: Responsabilidades de Difusión

El modelo E de macro adopción BIM (ver figura 26) analiza la difusión BIM a través de los roles que tienen los stakeholders de la Industria. Este modelo identifica nueve tipos de actores BIM y los distribuye a través de los Campos BIM (Tecnología, Procesos y Políticas) definidos por el marco de trabajo BIM. La descripción de cada tipo de actor BIM es presentada en la tabla 12.

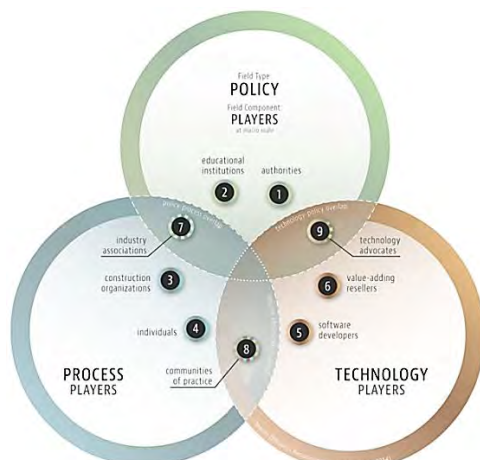


Figura 26. Modelo E de macro adopción BIM. Extraído de “Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, por Succar, B. & Kassem, M., 2015.

Tabla 12
Actores BIM responsables de difusión en Perú

Enfoque	Descripción
Formuladores De Política	Autoridades que pueden mandar o regular BIM (Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)
Instituciones Educativas	Centros de educación superior enseñando BIM (Universidades, SENCICO, etc.)
Organizaciones De La Industria	Empresas usando BIM por ventaja competitiva. Para el caso particular de Perú (Empresas constructoras como COSAPI, etc.)
Proveedores De Software	Proveedores de software con presencia local (Autodesk, Trimble, Graphisoft, etc.)
Consultores BIM	Empresas que ayudan a los usuarios finales a usar las tecnologías
Asociaciones De La Industria	Asociaciones que representan los intereses de empresas y profesionales por sector, disciplina y especialidad (CAPECO, CAP, CIP, etc.)
Comunidades De Práctica	Grupos de usuarios con el interés común en el uso de herramientas y procesos

Nota: Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguía, D., 2019.

3.3 Estudios de Macro Adopción a nivel mundial

3.3.1 Macro Adopción BIM en 21 países – 2015

El presente estudio fue realizado con el objetivo de validar los 5 modelos de macro adopción propuestos por Kassem y Succar (2017). La población encuestada estuvo compuesta por 95 expertos pertenecientes a 21 países a nivel mundial.

3.3.1.1 Modelo A: Áreas de Difusión

Los resultados muestran una desigual distribución entre las áreas de difusión de cada país. Mientras que los Países Bajos, Reino Unido, China, Finlandia y Corea del Sur presentan una distribución balanceada entre todas sus áreas de difusión; los países como Brasil, Italia, Malasia, México, Rusia, España, Suiza, Catar y los Emiratos Árabes Unidos presentan una distribución desbalanceada entre estas áreas inclusive con algunas faltantes. Estos resultados son mostrados en la figura 27.

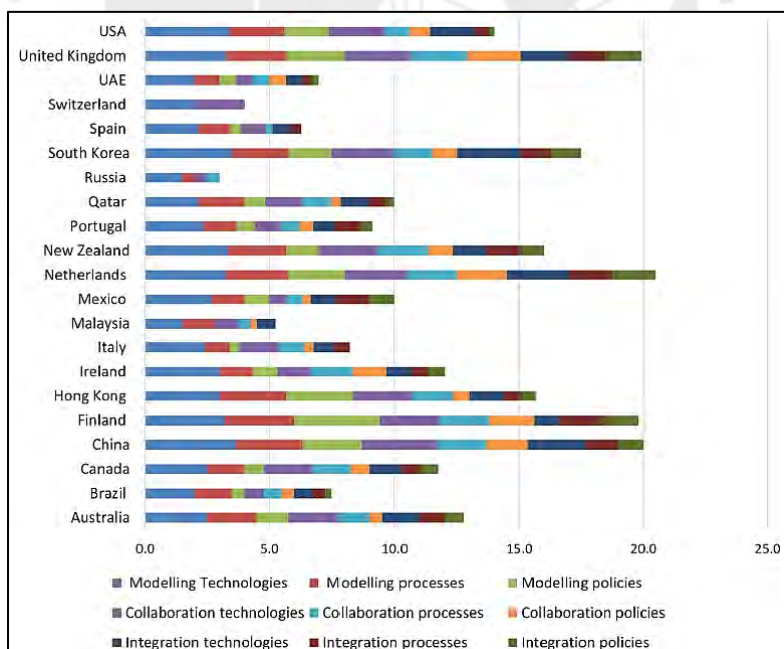


Figura 27. Resultados del modelo A de macro adopción por países - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

Con respecto a las Etapas BIM, 18 de los 21 países encuestados presentaron una tendencia en común: alta concentración en la Etapa BIM 1 de Modelado y baja concentración en las Etapas BIM 2 y 3 de Colaboración e Integración respectivamente. Estos resultados pueden observarse en la figura 28.

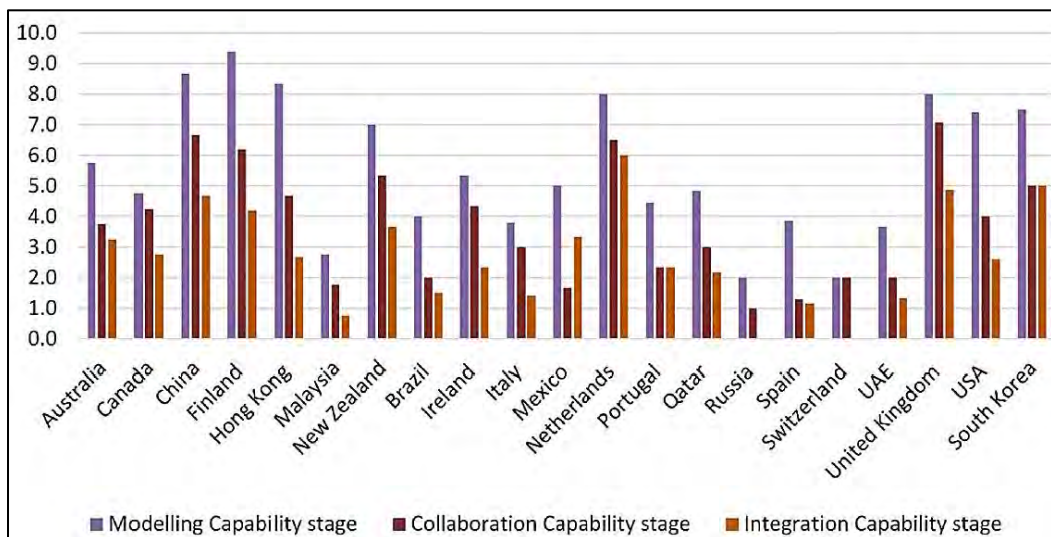


Figura 28. Resultados de evaluación de etapas BIM por países - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

3.3.1.2 Modelo B: Componentes de Macro Madurez

Con respecto a los resultados por país (ver figura 29), se obtiene que el país que posee mayor madurez acumulativa entre todos sus componentes es Reino Unido, seguido de China, Corea del Sur, Finlandia, Países Bajos, España y Estados Unidos. Sin embargo, todos estos resultados siguen siendo bajos pues inclusive Reino Unido, que es el mayor calificado, tiene una puntuación de 17.7 sobre 32 puntos.

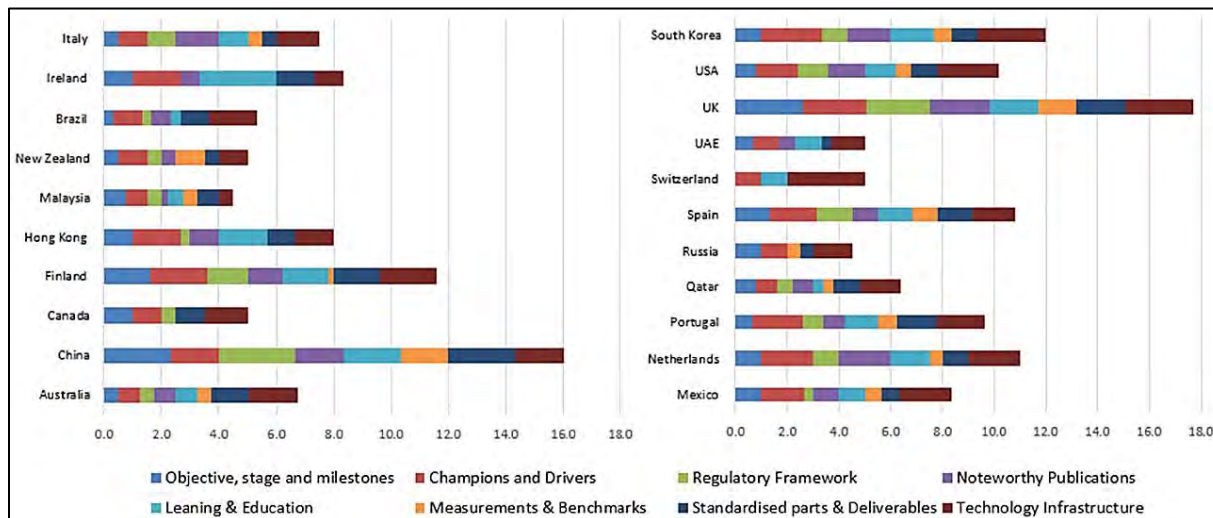


Figura 29. Resultados del modelo B de macro adopción por países - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

Para los resultados por componente, se aplicó una conversión de los índices evaluados en la figura 29 a un rango de porcentajes. De los resultados obtenidos (ver figura 30), se obtuvo que ningún país alcanzó una calificación de madurez “Alto” dentro de todos sus componente, siendo Reino Unido el país con mayor madurez de calificación “Alto” por componente en 5 de los 8 componentes evaluados. Además, se obtuvo que la mayoría de los países poseen algún componente de madurez “Bajo” o inclusive sin calificación (nulo) como son los casos de Canadá, Suiza y Rusia principalmente (casillas en blanco en la figura 30). Finalmente, se obtuvo que la madurez promedio de cada uno de los 8 componentes fue de “Medio-Bajo” pues presentan un promedio igual o menor a 50%.

	Objectives, Stages & Milestones	Champions & Drivers	Regulatory Framework	Noteworthy Publications	Learning & Education	Measurements & Benchmark	Standardised parts & Deliverables	Technology Infrastructure
Australia	13	20	20	20	20	13	33	45
China	58	43	43	43	50	43	58	43
Canada	25	25	0	0	0	0	25	38
Finland	40	50	30	30	40	5	40	50
Hong Kong	25	43	25	25	43	0	25	33
Malaysia	20	20	8	8	13	13	20	13
New Zealand	13	25	13	13	0	25	13	25
Brazil	8	25	18	18	8	0	25	43
Ireland	25	43	18	18	68	0	33	25
Italy	13	25	38	38	25	13	13	38
Mexico	25	43	25	25	25	18	18	50
Netherlands	25	50	50	50	38	13	25	50
Portugal	15	50	23	23	33	20	38	48
Qatar	20	20	20	20	10	10	25	40
Russia	25	25	0	0	0	13	13	38
Spain	33	45	25	25	33	25	33	43
Switzerland	0	25	0	0	25	0	0	75
UAE	18	25	18	18	25	0	8	33
UK	65	63	58	58	45	38	48	65
USA	20	40	35	35	30	15	25	60
South Korea	25	58	43	43	43	18	25	68

Figura 30. Resultados del modelo B de macro adopción por componentes - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

3.3.1.3 Modelo C: Dinámicas de Macro Difusión

Los resultados muestran un predominio de la dinámica de difusión radial dentro de 16 países. Sin embargo, esta tendencia puede ser variable con el transcurso de los años como es el caso de Brasil, país en el cual la difusión fue inicialmente impulsada por los estudios de arquitectura (dinámica ascendente) y, gracias a ello, fue implementada por el Gobierno de manera formal generando una dinámica descendente. Finalmente, también se observó que la dinámica de difusión en los países de Hong Kong, Emiratos Árabes Unidos y Reino Unido es descendente debido a sus mandatos existentes con relación a la adopción BIM. Estos resultados pueden ser observados en la tabla 13.

Tabla 13
Dinámicas de difusión en 21 países - 2015

País	Dinámica de difusión		
	Ascendente	Radial	Descendente
Australia		X	
Brasil		X	
Canadá		X	
China		X	
Finlandia		X	
Hong Kong	X		
Irlanda		X	
Italia		X	
Malasia		X	
México		X	
Países Bajos			
Nueva Zelanda			X
Portugal		X	
Catar		X	
Rusia		X	
Corea del Sur		X	
España			X
Suiza		X	
Emiratos Árabes Unidos	X		
Reino Unido	X		
Estados Unidos		X	

Nota: Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

3.3.1.4 Modelo D: Acciones de Formuladores de Política

Los países encuestados fueron clasificados por los expertos de acuerdo con el enfoque de las actividades tomadas por los formuladores de políticas de cada país. Estas clasificaciones son detalladas a continuación y presentadas en la tabla 14.

Tabla 14
Acciones de formuladores de política en 21 países - 2015

País	Actividades								
	Comunicar			Participar			Supervisar		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Australia	X			X			X		
Brasil	X			X			X		
Canadá	X			X			X		
China		X		X			X		
Finlandia		X		X			X		
Hong Kong		X		X			X		
Irlanda	X			X			X		
Italia	X			X			X		
Malasia	X			X			X		
México	X			X			X		
Países Bajos		X			X		X		
Nueva Zelanda	X			X			X		
Portugal	X			X			X		
Catar	X			X			X		
Rusia	X			X			X		
Corea del Sur		X		X			X		
España	X			X			X		
Suiza	X			X			X		
Emiratos Árabes	X			X			X		
Unidos									
Reino Unido		X			X		X		
Estados Unidos		X		X				X	

Nota: Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

Además de los enfoques, es importante señalar la relación entre los resultados obtenidos en el presente modelo con respecto al modelo C. Si bien en el modelo C se obtuvo que la dinámica descendente predominaba en ciertos países, esto no significa o concluye que el enfoque de los formuladores de política es, por tanto, activo o asertivo. Por ejemplo, en el caso de Hong Kong y Emiratos Árabes Unidos, estos países presentan una dinámica de difusión descendente de acuerdo con el modelo C y un enfoque totalmente pasivo de los formuladores de política de acuerdo con el modelo D.

3.3.1.5 Modelo E: Responsabilidades de Difusión

Fueron evaluados 8 de los 9 tipos de actores del modelo E de macro adopción y los resultados muestran una comparación de actividades de difusión BIM de los actores de la Industria dentro de un mismo país (ver figura 31); y una comparación de las actividades de difusión BIM de un mismo tipo de actor de la Industria en diferentes países (ver figura 32).

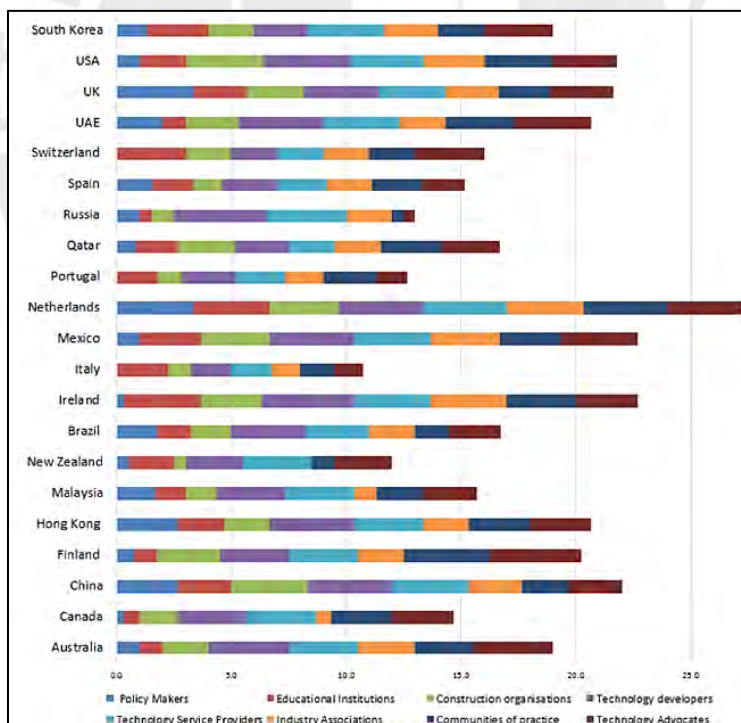


Figura 31. Resultados del modelo E de macro adopción por países - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

	Policy Makers	Educational Institutions	Construction Organisations	Technology Developers	Technology Service Providers	Industry Associations	Communities of Practice	Technology Advocates
Australia	25	25	50	88	75	63	63	88
Canada	8	18	43	75	75	18	68	68
China	68	58	83	93	83	58	50	58
Finland	20	25	70	75	75	50	95	100
Hong Kong	68	50	50	93	75	50	68	68
Malaysia	43	33	33	75	75	25	50	58
New Zealand	13	50	13	63	75	0	25	63
Brazil	45	38	45	83	70	50	38	58
Ireland	8	83	68	100	83	83	75	68
Italy	0	58	25	45	45	33	38	33
Mexico	25	68	75	93	83	75	68	83
Netherlands	83	83	75	93	93	83	93	83
Portugal	0	45	25	58	55	43	58	33
Qatar	20	45	63	58	50	50	68	63
Russia	25	13	25	100	88	50	13	13
Spain	40	43	33	60	53	50	53	48
Switzerland	0	75	50	50	50	50	50	75
UAE	50	25	58	93	83	50	75	83
UK	85	58	63	83	73	58	55	70
USA	25	50	85	95	80	65	75	70
South Korea	33	68	50	58	83	58	50	75

Figura 32. Resultados del modelo E de macro adopción por componentes - 2015. Extraído de “Macro BIM adoption: Comparative market analysis. Automation in Construction”, por Kassem, M. & Succar, B., 2017.

3.3.2 Macro Adopción BIM en Perú – 2019

El estudio de macro adopción BIM en Perú fue desarrollado entre enero y mayo del año 2019 por el Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú en colaboración con BIMe Initiative (Murguía, 2019). La evaluación fue realizada en base a los 5 modelos de macro adopción BIM antes presentados y el panel de expertos constó de 22 profesionales de la Industria y academia en Perú. A continuación, se presentan los resultados y principales hallazgos obtenidos.

3.3.2.1 Modelo A: Áreas de Difusión

De acuerdo con las Etapas BIM de capacidad de la Industria, se obtuvo que la etapa BIM 1 de Modelado tiene una calificación “Medio”; la Etapa BIM 2 de Colaboración, “Medio-Bajo”; y la

etapa BIM 3 de integración, “Bajo”. Estos resultados pueden ser observados de acuerdo con las nueve áreas de difusión particulares del modelo A en la figura 33.

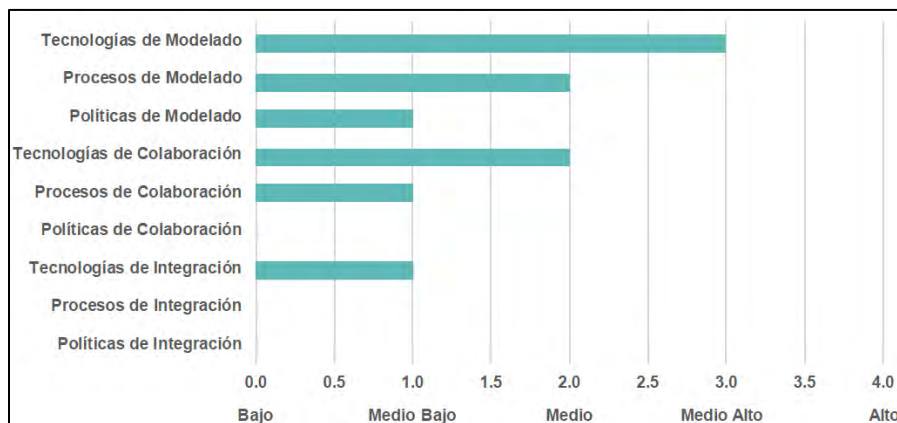


Figura 33. Resultados del modelo A del estudio de macro adopción en Perú 2019. Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru", por Murguía, D., 2019.

La Etapa BIM 1 de Modelado presenta la mayor calificación entre las áreas de difusión. Esto pues, si bien existen procesos paralelos en 2D y 3D, la documentación del proyecto aún está basada en CAD 2D y el modelamiento de 3D es implementado, en su mayoría, para las detecciones de colisiones. Además, no existen estándares nacionales; sin embargo, existen esfuerzos de parte de consultores externos en la creación de estándares propios.

La Etapa BIM 2 de Colaboración en el Perú inició su implementación desde el año 2014 y está en una fase inicial dado la aún existencia de procesos en 2D y 3D (no existen contratos colaborativos). Pese a que existen profesionales como “BIM Manager” o “Coordinadores BIM” en el área, estos pertenecen, en su mayoría, a las empresas constructoras.

La Etapa BIM 3 de Integración en el Perú es aún muy limitada como consecuencia del reciente inicio de la Etapa BIM 2 en el Perú.

3.3.2.2 Modelo B: Componentes de Macro Madurez

Las calificaciones de madurez de cada componente de macro madurez pueden ser observados en la figura 34.

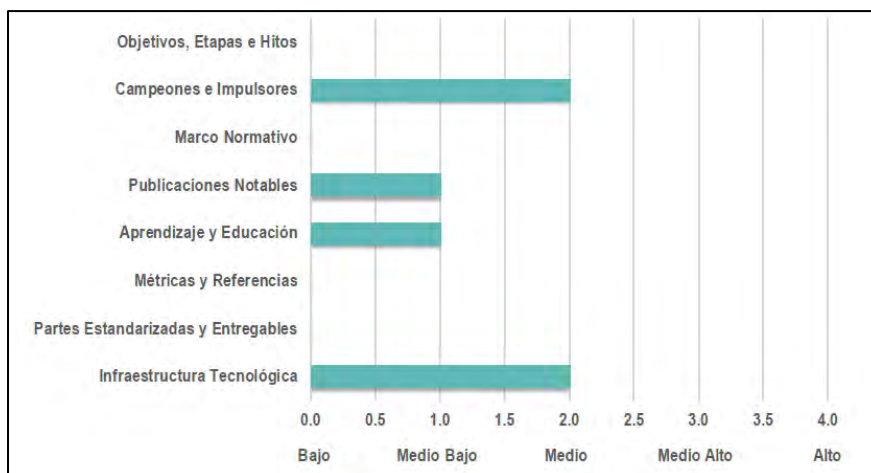


Figura 34. Resultados del modelo B del estudio de macro adopción en Perú 2019. Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguía, D., 2019.

Los componentes “Infraestructura Tecnológica” y “Campeones e Impulsores” presentan la mayor madurez debido al uso de software para modelado 3D, el inicio de trabajo colaborativo en el Perú y la existencia de líderes BIM de las empresas del mercado y miembros del Comité BIM.

Los componentes “Publicaciones Notables” y “Aprendizaje y Educación” muestran una madurez “Medio-Bajo” dado que no existen guías ni protocolos disponibles para el mercado; sin embargo, se tiene previsto un plan BIM nacional a futuro que incluye estándares y requerimientos BIM, proyectos piloto, uso de BIM en proyectos públicos y un marco regulatorio para articular BIM con sistemas administrativos del Estado.

Si bien no existe calificación de madurez para los componentes “Objetivos, Etapas e Hitos”, “Marco Normativo”, “Métricas y Referencias” y “Partes Estandarizadas y Entregables”, se espera una mayor madurez con la creación del plan BIM nacional antes mencionado.

3.3.2.3 Modelo C: Dinámicas de Macro Difusión

La dinámica de difusión BIM resultante fue radial. Este resultado se presenta en la figura 35.

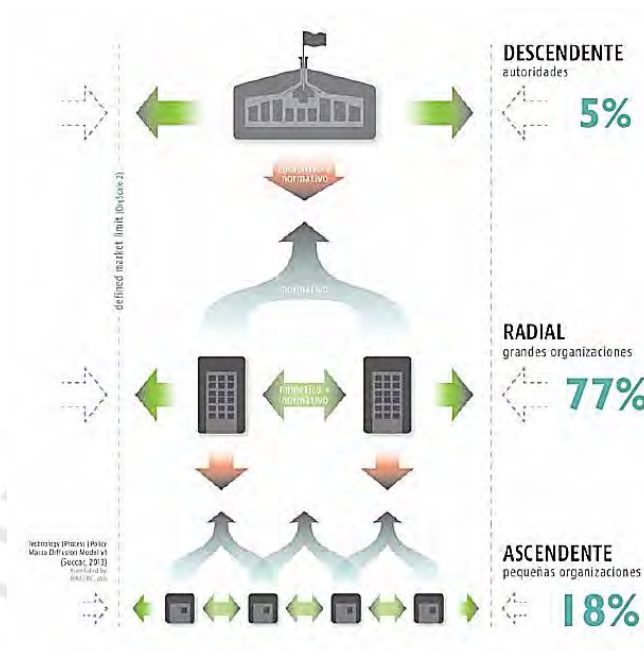


Figura 35. Resultados del modelo C del estudio de macro adopción en Perú 2019. Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru ", por Murguía, D., 2019.

La dinámica de difusión predominante se ve reflejada gracias a la reciente implementación BIM en las empresas contratistas con el fin de detección de incompatibilidades e ingeniería de valor. Así mismo, estas empresas contratistas ejercen presiones laterales, descendentes y ascendentes sobre otros actores de la Industria. La presión lateral es ejercida sobre otras empresas constructoras y, como resultado, han iniciado a implementar BIM en su labor. La presión descendente es ejercida sobre otras empresas pequeñas y medianas (de diseño y subcontratistas) por influencia del contratista general. Finalmente, la presión ascendente es ejercida con el fin de incentivar el uso de BIM por clientes privados, inmobiliarias y gerencias de BIM. Además, esta presión es ejercida sobre el Gobierno dando como resultado el plan BIM nacional en proceso.

3.3.2.4 Modelo D: Acciones de Formuladores de Política

Los resultados mostraron que los formuladores de política tienen una comunicación pasiva (sensibilizan sobre BIM), una participación pasiva (fomentan sobre BIM) y una supervisión pasiva (observan los avances sobre BIM) de acuerdo con las 9 acciones políticas desarrolladas por el modelo D de macro adopción. Estos resultados se ven reflejados en la figura 36.

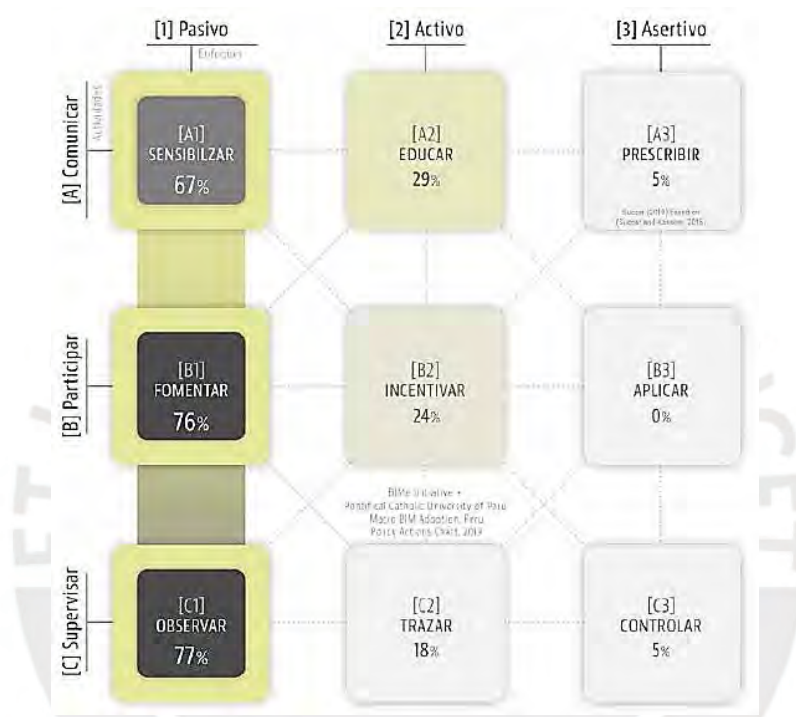


Figura 36. Resultados del modelo D del estudio de macro adopción en Perú 2019. Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru", por Murguía, D., 2019.

Los formuladores de política han realizado talleres y seminarios BIM nacionales e internacionales con el objetivo de incentivar el uso de BIM mediante el conocimiento de sus beneficios y experiencias internacionales. Además, se ha realizado la prepublicación de los Lineamientos Generales de uso de BIM en proyectos de construcción y se ha anunciado la inclusión de BIM en el Plan Nacional de Competitividad y Productividad.

3.3.2.5 Modelo E: Responsabilidades de Difusión

Fueron evaluados 7 de los 9 tipos de actores BIM y presentaron los niveles de involucrimiento: “Medio-Alto” para los actores pertenecientes a “Organizaciones de la Industria”; “Medio” para las “Instituciones Educativas”, “Consultores BIM”, “Asociaciones de la Industria”, “Proveedores de Software” y “Comunidades de Práctica”; y “Medio-Bajo” para los “Formuladores de Política”. Estos resultados pueden ser observados en la figura 37.

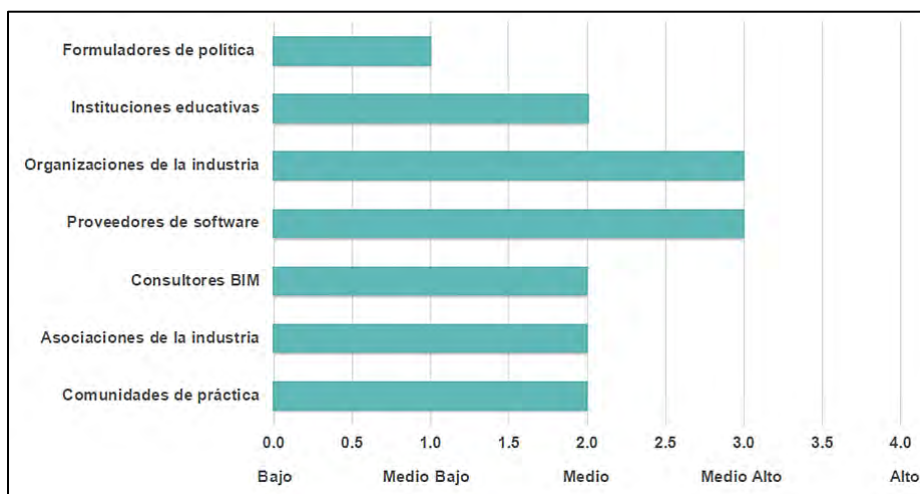


Figura 37. Resultados del modelo E del estudio de macro adopción en Perú 2019. Extraído de "2019 Macro BIM Adoption Study in Peru", por Murguía, D., 2019.

Luego de la revisión de literatura existente mediante los Capítulos 2 y 3, se sintetiza los aspectos encontrados que son más relevantes para el Capítulo 4 de Metodología de Investigación Aplicada:

Determinantes y factores más relevantes de la Industria que afectan en la Adopción BIM

Los factores y determinantes más relevantes para esta investigación están definidos por la Taxonomía de adopción BIM (ver tabla 4) y son presentados a continuación:

- Características Innovativas BIM (Facilidad de Uso Percibido y Utilidad Percibida)
- Características del Entorno Externo (Presiones Coercivas, Presiones Normativas y Sistema de Procura)
- Características del Entorno Interno (Asequibilidad)

Modelo de Investigación

El modelo de investigación propuesto evalúa el efecto que tienen las presiones isomórficas, sistema de procura y asequibilidad BIM de la Industria AEC sobre la percepción BIM de los profesionales de construcción (representadas mediante las Características Innovativas BIM). La relación de variables se puede observar en la siguiente figura:

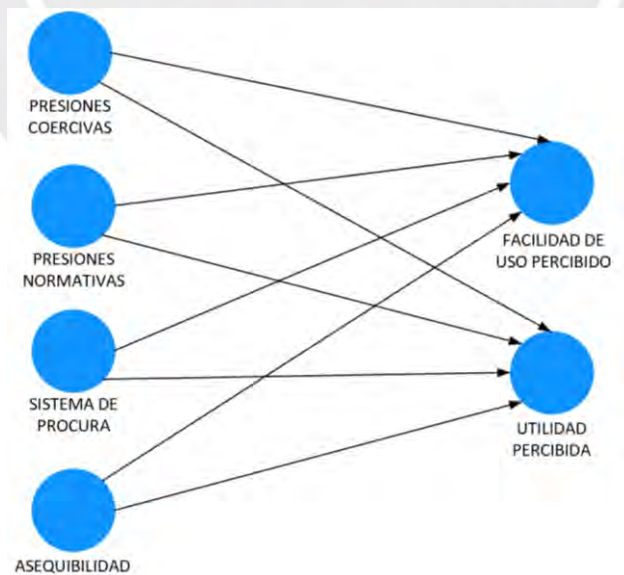


Figura 38 Modelo de investigación de factores influyentes en la adopción BIM

Hipótesis del modelo de investigación

Las hipótesis del modelo son establecidas mediante las variables del modelo de investigación y sus relaciones. De esta manera, la siguiente tabla presenta todas las hipótesis planteadas:

Tabla 15

Hipótesis planteadas del modelo de investigación

Nº Hipótesis	Hipótesis de investigación
Hipótesis 1	Las Presiones Coercivas influyen en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 2	Las Presiones Normativas influyen en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 3	El Sistema de Procura de un proyecto de construcción influye en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 4	La Asequibilidad de adoptar un entorno BIM influye en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 5	Las Presiones Coercivas influyen en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 6	Las Presiones Normativas influyen en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 7	El Sistema de Procura de un proyecto de construcción influye en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC
Hipótesis 8	La Asequibilidad de adoptar un entorno BIM influye en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN APLICADA

4.1 Introducción

La presente tesis de investigación adopta una metodología cuantitativa mediante análisis estadístico descriptivo e inferencial para validar el modelo de investigación anteriormente presentado al cierre de la revisión literaria, además de las hipótesis planteadas del mismo. Esta metodología, además, engloba la descripción de la estructura de investigación, el instrumento de medición empleado y técnicas de tratamiento de datos con el fin de satisfacer el objetivo principal y los objetivos específicos presentados en el Capítulo 1. Para ello, es importante tener en cuenta, en primer lugar, el enfoque de la investigación. El enfoque otorgado es cuantitativo ya que se presenta información de manera estadística y se emplean números como medida de análisis, además de medir concepciones abstractas. Además, el nivel de estudio de la investigación es correlacional pues se evalúan dependencias entre variables con el fin de obtener un análisis de datos más profundo.

La presente tesis es realizada con el fin de estimar la situación actual de una población, en este caso, los profesionales de la industria AEC, con respecto a la adopción BIM. Para ello, este capítulo presenta el diseño, formato y testeo de una encuesta de investigación. Por definición, la encuesta de investigación es una técnica de recolección de datos que permite, principalmente, producir descripciones cuantitativas sobre aspectos evaluados a una población de estudio (Pinsonneault &

Kraemer, 1993). La elección de la encuesta de investigación como fuente principal de obtención de datos del presente estudio recae en su diferencia frente a los otros dos métodos predominantes del sistema de gestión de información: los casos de estudio y los experimentos de laboratorio. Por un lado, los casos de estudios involucran la examinación de un fenómeno en su entorno natural y los investigadores pueden no tener una definición clara de las variables dependientes o independientes. Por otro lado, los experimentos de laboratorio involucran la examinación de un fenómeno en un ambiente controlado y existe una manipulación de las variables por parte de los investigadores. En contraste con estos dos métodos, la encuesta de investigación involucra la examinación de un fenómeno en una gran variedad de entornos y los investigadores tienen una clara definición de las variables dependientes e independientes (Pinsonneault & Kraemer, 1993).

Para que la metodología de investigación pueda ser entendida claramente y se logren alcanzar los objetivos propuestos inicialmente, es necesaria la existencia de una estructura de investigación. A continuación, se presenta la estructura propuesta del presente estudio.

4.2 Estructura de investigación

La estructura de investigación permite presentar todas las actividades por realizar de una manera ordenada y secuencial con el fin de satisfacer el objetivo principal. Para lograr una buena estructuración, es necesario tener en cuenta las fuentes de información a emplear en el estudio. En la presente tesis, se emplean dos tipos de fuentes de información: fuentes primarias y fuentes secundarias.

Por un lado, esta investigación emplea como fuente primaria a la información obtenida por medio del procesamiento de datos recolectados mediante una encuesta de investigación. La encuesta de investigación de esta tesis presenta la siguiente estructuración: definición del alcance, diseño de encuesta, prueba piloto, recolección de datos, validación y limpieza de datos. Asimismo, se realiza la integración de las dos bases de datos obtenidas con el fin de procesar los datos y obtener información de interés para su posterior análisis.

Por otro lado, las fuentes secundarias de la tesis son los estudios previos globales presentados en los Capítulos 2 y 3. Estos estudios previos permiten contrastar la información obtenida del procesamiento de datos ya que contienen información respecto a situaciones nacionales de adopción BIM y otros temas de análisis relacionados al objetivo principal de la presente tesis. Además, permiten enriquecer la discusión de resultados obtenida mediante la fuente primaria.

En la figura 39, se puede observar la estructura de investigación en base a las fuentes empleadas en la presente tesis.



Figura 39. Estructura de Investigación

4.3 Encuesta de investigación “Influencia de la Industria en la adopción BIM”

La presente investigación es del tipo no experimental transversal. Por un lado, es no experimental pues se evalúan variables sobre las cuales no se tiene un control dentro de una muestra seleccionada. Por otro lado, es transversal ya que la recolección de datos se realiza dentro de un tiempo definido. Como instrumento principal de este tipo de investigación, se emplea la encuesta de investigación.

La encuesta de investigación empleada en la presente tesis abarca una sección de la encuesta completa usada para la toma de datos del Segundo Estudio de Adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao 2020. A continuación, se detalla el alcance, diseño, testeo, recolección y validación de datos de la encuesta.

4.3.1 Alcance

El público objetivo de la encuesta fueron los profesionales con poder de decisión dentro de los proyectos de construcción en Lima Metropolitana y Callao (ingenieros residentes, jefes de oficina técnica o jefes de campo). Con respecto a los proyectos encuestados, estos debían cumplir el requisito de ser obras formales de edificación nueva que se encuentren en la etapa de Excavación, Estructuras o Acabados. No formaron parte de los proyectos evaluados: casas, ampliaciones, obras de infraestructura, obras informales u obras en pre-venta.

4.3.2 Diseño muestral

El diseño muestral permite conocer la cantidad de proyectos de construcción a evaluar para obtener resultados significativos y la correcta distribución de los mismos dentro del límite geográfico de Lima Metropolitana y Callao. Para la presente investigación, se ha realizado la división por conglomerados según las divisiones urbanas y distritales que conformen Lima Metropolitana y Callao.

4.3.2.1 Estratificación del universo de muestra

De acuerdo con el 24° Estudio sobre el Mercado de Edificaciones Urbanas en Lima Metropolitana, al 2019, se contaba con un universo de estudio de 1568 proyectos de vivienda. Dicho estudio divide la cantidad total de proyectos en siete sectores urbanos: Lima Top, Lima Moderna, Lima Centro, Lima Norte, Lima Sur, Lima Este y Callao (ver tabla 16).

Tabla 16.

División del total de proyectos de vivienda 2019 por sectores urbanos

Sector Urbano	Total de proyectos de vivienda
Lima Top	680
Lima Moderna	495
Lima Centro	94
Lima Este	66
Lima Norte	97
Lima Sur	87
Callao	49
	1568

Nota: Extraído de 24° Estudio sobre el Mercado de Edificaciones Urbanas en Lima Metropolitana, al 2019

Los siete sectores urbanos están conformados por distritos. Cada distrito está subdividido por grupos, los cuales son conglomerados geográficos que comparten un patrón común que es el precio de venta. A continuación, la tabla 17 presenta la cantidad de grupos en los que se dividen cada distrito por sector urbano.

Tabla 17.

División de sectores urbanos en distritos y grupos

Sector Urbano	Distritos	Se dividen en
Lima Top	Miraflores, Santiago de Surco, San Borja	Grupo A, B y C
	San Isidro, La Molina, Barranco	Grupo A y B
Lima Moderna	Jesús María, Magdalena del Mar, Pueblo Libre, San Miguel, Surquillo	Grupo A, B y C
	Lince	Grupo A
Lima Centro	Breña	Grupo A, B y C
	Cercado de Lima	Grupo A y B
	La Victoria, San Luis	Grupo A
Lima Este	Ate, Cieneguilla, Chaclacayo, Lurigancho, Santa Anita, El Agustino, San Juan de Lurigancho	Grupo A
Lima Norte	Los Olivos	Grupo A, B y C
	Carabayllo, Comas, Puente Piedra, San Martín de Porres, Ancón/Independencia	Grupo A
Lima Sur	Chorrillos	Grupo A y C
	Lurín/Pachacamac/VES, San Juan de Miraflores, Pucusana, Punta Hermosa/Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar	Grupo A
Callao	Bellavista, Callao, La Perla, Ventanilla	Grupo A

Nota: Extraído de 24° Estudio sobre el Mercado de Edificaciones Urbanas en Lima Metropolitana, al 2019

La distribución de las muestras a recoger de cada sector urbanos ha sido proporcional al total de proyectos de vivienda al 2019 que poseen, con un tamaño de muestra total a ser calculado en el siguiente acápite. Dentro de los 7 sectores urbanos, se seleccionaron 63 conglomerados al azar del número total de grupos con el fin de lograr una distribución de muestras representativa.

4.3.2.2 Tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de muestra, se aplica la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2 + \frac{Z^2 * p * q}{N}}$$

Donde:

N: Tamaño de la población estimado (1568 proyectos de vivienda)

Z: nivel de confianza (95%; 1.96)

p: %asumido de proyectos de edificación urbana que han adoptado BIM en Lima Metropolitana y Callao en el 2019 (24.5%, recogido del Primer Estudio de Adopción BIM)

q: %asumido de proyectos de edificación urbana que no han adoptado BIM en Lima Metropolitana y Callao en el 2019 (75.5%, recogido del Primer Estudio de Adopción BIM)

e: margen de error asumido (5%)

De esta manera, aplicando la fórmula estadística:

$$n = 242$$

Por tanto, para las condiciones antes presentadas, el total de muestra estimado es de 242 proyectos de edificación urbana.

4.3.2.3 Distribución del total de muestra

El total estimado de 242 muestras es dividido proporcionalmente entre los siete sectores urbanos. El total de muestras por sector urbano es dividido en determinados grupos de acuerdo con el criterio de los investigadores para poder ser asignados a un conglomerado del mismo sector urbano de manera aleatoria. La distribución final por sector urbano y la cantidad de grupos son presentados en la tabla 18.

Tabla 18.
Distribución final por sector urbano y grupos de la investigación

Sector Urbano	Distribución por sector según total de 242 muestras	Asignación de grupos	Total de muestra final
Lima Top	105	6 grupos de 18	108
Lima Moderna	76	6 grupos de 13	78
Lima Centro	15	3 grupos de 5	15
Lima Este	10	3 grupos de 3	9
Lima Norte	15	3 grupos de 5	15
Lima Sur	13	3 grupos de 4	12
Callao	8	2 grupos de 4	8
	242	26 grupos	245

Nota: fuente propia

Los 26 grupos de estudio son referidos a 26 conglomerados a elegir aleatoriamente del total de 63 grupos en todo Lima Metropolitana y Callao. Se debe tener en cuenta que el total de 245 es un total objetivo pues, en el trabajo de campo, el total puede verse afectado y ser reducido debido a la accesibilidad que presenten los proyectos de construcción en ser encuestados.

4.3.3 Diseño de la encuesta

De acuerdo con Branch y Klaehn (2002), el diseño de una encuesta debe incluir, principalmente, el alcance de los elementos a evaluarse, el tipo de formato de pregunta a emplear y testeo o prueba piloto de la encuesta. En base a lo antes señalado, el diseño de la encuesta virtual de la presente tesis abarca el detalle de cada uno de los elementos que lo componen, las fuentes de donde fueron extraídas y la explicación de su elección. Además, presenta las divisiones o secciones del cuestionario, el formato de evaluación y las pruebas piloto realizadas antes de obtener una versión

final de la encuesta. A continuación, se presenta, en detalle, cada uno de los elementos y etapas mencionados.

4.3.3.1 Secciones de la encuesta

La encuesta “Influencia de la Industria en la adopción BIM” presenta dos secciones: Información del Encuestado e Influencia de la Industria en BIM. En la figura 40, se puede observar la estructura de divisiones de la presente encuesta.



Figura 40. Secciones de la encuesta de investigación

4.3.3.2 Preguntas de control y afirmaciones

El contenido de evaluación de la encuesta fue propuesto inicialmente por el tesista a cargo de la presente investigación en base a la revisión de literatura realizada y presentada en los Capítulos 2 y 3. Posteriormente, el trabajo realizado fue corregido y aprobado por el ing. Danny Murguía,

asesor de investigación, en base a su experiencia, conocimiento y estudios previos realizados de la materia en evaluación. Se tuvo en consideración que cada elemento de la encuesta sea claro, comprensible y objetivo. De esta manera, la sección “Información del Encuestado” estuvo compuesta por 5 preguntas de control y la sección “Influencia de la Industria en BIM” fue evaluada mediante 22 afirmaciones.

Por un lado, las preguntas de control tienen como objetivo evaluar el perfil del profesional encuestado y su definición más cercana de BIM. Fueron materia de evaluación: la profesión del encuestado, cargo en el proyecto, años de experiencia laboral, años de experiencia trabajando con BIM y su concepto más cercano de BIM. Respecto a este último, fueron presentadas tres opciones de respuesta: “Tecnología de modelado 3D y detección de incompatibilidades”; “Metodología para colaborar entre empresas”; y “Metodología para integrar diseño, construcción y operación”. Por otro lado, las 22 afirmaciones (ver tabla 19) tuvieron como objetivo evaluar los siguientes factores influyentes dentro de la adopción BIM: la facilidad de uso percibido, la utilidad percibida, presiones coercivas, presiones normativas, efecto del sistema de procura y la asequibilidad.

Tabla 19.
Afirmaciones de la encuesta de investigación

Sección de encuesta	Afirmación
Facilidad de uso percibido	Es fácil gestionar proyectos con BIM
	Es fácil aprender el uso de las herramientas BIM
	Es fácil desarrollar nuevos estándares de trabajo con BIM
Utilidad percibida	BIM permite reducir los retrabajos y mejorar la productividad
	BIM es una solución a los problemas de información de los proyectos
	BIM permite reducir costos y plazos de las obras
Presión coerciva	BIM requiere estándares de para crear modelos
	BIM requiere estándares de procesos para compartir modelos
	BIM requiere librerías de objetos estándar
Presión normativa	BIM requiere estándares de contratos colaborativos
	Los cursos BIM disponibles enseñan modelado 3D
	Los cursos BIM disponibles enseñan flujos colaborativos
	Las universidades enseñan BIM
	Los graduados de ingeniería y arquitectura saben de BIM

Sistema de procura	La política del cliente en el costo más bajo limita el uso de BIM
	El foco de la industria en tiempo y acción inmediata limita el uso de BIM
	Las relaciones de corto plazo entre las empresas limitan el uso de BIM
	Las relaciones adversarias entre las empresas limitan el uso de BIM
Asequibilidad	El software y hardware BIM es de precio asequible en el mercado
	El cliente conoce y paga por BIM
	El costo de consultores BIM es de precio asequible en el mercado
	La capacitación en BIM es de precio asequible en el mercado

4.3.4 Formato de evaluación

De acuerdo con Branch y Klaehn (2002), los formatos de evaluación por tipo de elemento de evaluación fueron los siguientes:

Preguntas de control: La primera y segunda pregunta de control tuvieron un formato de “pregunta de opción múltiple con una sola respuesta”. En estas preguntas, se solicitó al encuestado que responda de acuerdo con su profesión y cargo en el proyecto. Las opciones mostradas para la primera pregunta de control fueron “Arquitecto (a)”, “Ingeniero (a) civil “y “Otro”. En el caso de la segunda pregunta de control, las opciones fueron “Gerente Proyecto”, “Ing. Residente” y otro. De ser elegida la última opción de “Otro”, se facilitaba una casilla en blanco para completar de acuerdo sea el caso. Seguidamente, se presentaron dos preguntas con un formato de “pregunta abierta”. En estas preguntas, se solicitó al encuestado que complete las casillas en blanco de acuerdo con los años de experiencia laboral y años de experiencia trabajando con BIM. Finalmente, con respecto a la cuarta pregunta de control, esta tuvo un formato de “pregunta de opción múltiple con una sola respuesta”. En esta pregunta de control, se solicitó al encuestado que seleccione una opción de las tres presentadas en base a su definición más cercana de BIM.

Afirmaciones: las 22 afirmaciones tuvieron un formato de “opción múltiple con más de una respuesta” y fueron evaluadas de acuerdo con la escala Likert del 1 al 5. Esto es, se solicitó al encuestado que califique cada afirmación de acuerdo con su nivel de desacuerdo o acuerdo, en donde (1) es totalmente en desacuerdo y (5) significa totalmente de acuerdo.

4.3.5 Prueba piloto

De acuerdo con Branch y Klaehn (2002), la prueba piloto es el testeo de la evaluación con el fin de detectar problemas de redacción, contradicción, orden y dificultades al contestar la encuesta. En cuanto a la encuesta de investigación, las pruebas piloto se realizaron durante y después del diseño de la misma. Por un lado, las pruebas piloto durante el diseño fueron realizadas mediante la revisión del orden lógico y la comprensibilidad del contenido. Por otro lado, las pruebas piloto luego del diseño incluyeron la revisión de la encuesta presencial por parte de los primeros entrevistados, los cuales señalaron que la encuesta era clara, comprensible y sencilla de contestar.

4.3.6 Recolección de datos

La recolección de datos fue realizada de manera presencial y virtual. En un inicio, la presente investigación tenía previsto realizar la recolección de datos mediante un trabajo de campo planificado entre febrero y abril 2020; sin embargo, dada la situación de emergencia nacional ocasionada por el virus COVID-19 en marzo 2020, la recolección presencial tuvo que ser adecuada a un formato virtual mediante la plataforma Google Forms, recolección que se realizó en junio 2020. Posteriormente, y con los debidos protocolos de seguridad señalados por el Gobierno, se continuó la recolección presencial entre los meses de setiembre y noviembre 2020.

4.3.7 Procesamiento de datos obtenidos

El procesamiento de datos obtenidos inicia una vez finalizado el periodo de recolección de datos. Este procesamiento es aplicado sobre los datos obtenidos mediante el instrumento de recolección, la encuesta de investigación, e incluye todas las actividades llevadas a cabo con el fin de obtener información de interés para su posterior análisis. En la presente investigación, estas actividades

están relacionadas con la validación, limpieza y tratamiento de datos obtenidos. A continuación, se detallan todas las actividades dentro del procesamiento de datos de la presente investigación.

4.3.8 Validación y limpieza de datos

La validación y limpieza de datos se realiza con el fin de que todos los datos a manejar sean coherentes y no existan vacíos. Por un lado, con respecto al trabajo de campo, se contaba con 222 encuestas respondidas del Segundo Estudio de Adopción BIM, de las cuales solamente 175 fueron encuestas efectivas puesto que el resto no contaba con información dentro de la sección de interés para la presente investigación. Por otro lado, con respecto a la encuesta virtual, todas las 93 encuestas recolectadas fueron efectivas. Finalmente, se obtuvo una base de datos de 268 encuestas efectivas.

4.3.9 Técnicas de tratamiento estadístico descriptivo

La estadística descriptiva es empleada con el fin de obtener resultados e información mediante gráficos estadísticos simples basados en un conjunto de datos. Esta técnica es empleada tanto para cada pregunta de control como para cada afirmación evaluada con el fin de obtener la tendencia de las respuestas de los encuestados. Además, permite establecer una comparación con respecto a las tendencias observadas de estudios previos.

4.3.10 Técnicas de tratamiento estadístico inferencial – SmartPLS 3

La estadística inferencial es añadida al estudio con el fin de enriquecer la información obtenida mediante la aplicación de estadística descriptiva. Este tipo de estadística permite efectuar estimaciones y generalizaciones por medio del cálculo de probabilidades. Para lograr ello, la estadística inferencial requiere de elementos que puedan ser medibles o sigan un parámetro. En la presente investigación, se emplea la modelación de ecuaciones estructurales (SEM por sus siglas en inglés) por medio del software SmartPLS 3 como método de estadística inferencial. De acuerdo con Haenlein y Kaplan (2004), los modelos de ecuaciones estructurales son una técnica de evaluación de datos por medio de la relación entre variables latentes dependientes e independientes

que permiten probar teóricamente modelos causales. De acuerdo con Wong (2013), las variables latentes son variables que no se pueden observar fácilmente y son difíciles de medir. De esta manera, la naturaleza de estas variables vuelve ideal la implementación de la modelación SEM en esta investigación ya que la “influencia” es una variable que no puede ser medida ni observada directamente.

4.3.10.1 Enfoque de modelación de ecuaciones estructurales

Para realizar la modelación de ecuaciones estructurales, existen dos enfoques particulares: mínimos cuadrados parciales (PLS por sus siglas en inglés) y análisis de estructuras de covarianza (CBM por sus siglas en inglés). Por un lado, el PLS-SEM está enfocado en la varianza de datos, permite un tamaño de la muestra mínima recomendada de entre 30 a 100 casos y se adapta mejor a las aplicaciones predictivas (Castro, Carrión & Roldán, 2007). El CBM-SEM, por otro lado, está enfocado en la covarianza de los datos, exige una muestra mínima recomendada de entre 200 y 800 casos y está orientado a la estimación de parámetros. El enfoque empleado en la presente investigación es PLS-SEM pues permite un análisis complejo entre relación de variables latentes con el fin de explicar los datos obtenidos, además del análisis predictivo.

De acuerdo con Martínez Ávila y Fierro Moreno (2018), PLS-SEM basa las relaciones de dependencia entre variables latentes en una justificación teórica, la cual está compuesta por un conjunto sistemático de relaciones que explican el comportamiento de un fenómeno. De esta manera, la teoría es primordial en la modelación PLS-SEM pues otorga las herramientas necesarias para definir cuáles son las variables latentes (independientes y dependientes) y sus indicadores, los cuales representan una medida de estudio o cuantificación de la variable con la que están relacionadas (Hair, Anderson, Tatham & Black, 1999). Además, permite evaluar la validez conceptual de los resultados.

En la presente investigación, las variables latentes dependientes, independientes y sus indicadores están definidos en base a las 22 afirmaciones de la encuesta de investigación y sus respectivas secciones divisoras. Dado que el objeto de estudio es medir la influencia del contexto de la Industria, 16 de las 22 afirmaciones se clasificaron de tal manera que se obtuvieron 4 factores de

la Industria. Estos factores fueron los siguientes: “Presiones Coercivas” con 4 indicadores; “Presiones Normativas” con 4 indicadores; “Sistema de Procura” con 4 indicadores; y “Asequibilidad” con 4 indicadores. En cuanto a las 8 afirmaciones restantes, dado que estas están relacionadas con la percepción de las características innovativas BIM por parte de los encuestados, estas fueron clasificadas en 2 factores: “Facilidad de Uso Percibido de BIM” con 3 indicadores y “Utilidad Percibida” con 3 indicadores.

Los factores presentados anteriormente representan variables de estudio para la modelación en el software SmartPLS 3. Los factores de la industria fueron determinados como variables independientes y las percepciones de los encuestados como variables dependientes dado que se busca analizar el efecto que tiene la Industria sobre los profesionales de la industria AEC en su adopción BIM. De esta manera, en la tabla 20 se presentan las variables dependientes, independientes e indicadores establecidos para la modelación PLS-SEM en el software SmartPLS 3. Además, se presentan las etiquetas de cada indicador a usar en el modelamiento.

Tabla 20
Variables latentes e indicadores de la modelación PLS-SEM

Tipo de variable	Variable	Indicadores	
		Afirmación	Etiqueta
Variables dependientes	Facilidad de uso percibido	Es fácil gestionar proyectos con BIM	PEU_1
		Es fácil aprender el uso de las herramientas BIM	PEU_2
		Es fácil desarrollar nuevos estándares de trabajo con BIM	PEU_3
	Utilidad percibida	BIM permite reducir los retrabajos y mejorar la productividad	PU_1
		BIM es una solución a los problemas de información de los proyectos	PU_2
		BIM permite reducir costos y plazos de las obras	PU_3
Variable independientes	Presión coerciva	BIM requiere estándares de para crear modelos	CP_1
		BIM requiere estándares de procesos para compartir modelos	CP_2
		BIM requiere librerías de objetos estándar	CP_3
		BIM requiere estándares de contratos colaborativos	CP_4
	Presión normativa	Los cursos BIM disponibles enseñan modelado 3D	NP_1
	Los cursos BIM disponibles enseñan flujos colaborativos	NP_2	

	Las universidades enseñan BIM	NP_3
	Los graduados de ingeniería y arquitectura saben de BIM	NP_4
Sistema de procura	La política del cliente en el costo más bajo limita el uso de BIM	IND_1
	El foco de la industria en tiempo y acción inmediata limita el uso de BIM	IND_2
	Las relaciones de corto plazo entre las empresas limitan el uso de BIM	IND_3
	Las relaciones adversarias entre las empresas limitan el uso de BIM	IND_4
Asequibilidad	El software y hardware BIM es de precio asequible en el mercado	AFF_1
	El cliente conoce y paga por BIM	AFF_2
	El costo de consultores BIM es de precio asequible en el mercado	AFF_3
	La capacitación en BIM es de precio asequible en el mercado	AFF_4

4.3.10.2 Enfoque de medición

De acuerdo con Wong (2013), la modelación PLS-SEM está compuesta por dos submodelos: el modelo interno (también llamado modelo estructural) y el modelo externo (también llamado modelo de medida). Mientras que el modelo interno especifica las relaciones entre variables latentes dependientes e independientes, el modelo externo presenta la relación entre estas variables latentes y sus indicadores. La estructura y los elementos de una modelación PLS-SEM se puede observar en la figura 41.

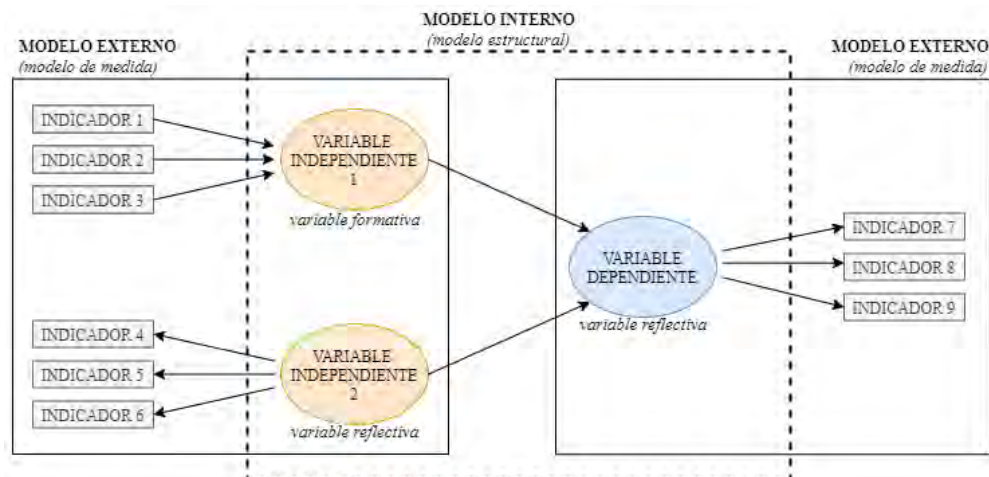


Figura 41. Escalas de medición. Adaptado de “Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico”, por Martínez Ávila, M., & Fierro Moreno, E., 2018.

De esta manera, el enfoque de medición de la modelación PLS-SEM está determinado por la manera en cómo las variables son medidas. Existen dos tipos de enfoques de medición de variables: el enfoque formativo y el enfoque reflectivo (ver figura 41). Por un lado, de acuerdo con Wong (2013), en una medición formativa, los indicadores representan un significado de la variable latente a la que están relacionadas y la eliminación de un indicador significaría que esta variable pierda parte de su significado. Dentro de una medición formativa, los indicadores no son intercambiables entre ellos y pueden no tener correlación entre sí, lo cual vuelve innecesario el análisis de su confiabilidad y validez (Haenlein & Kaplan, 2004). Por otro lado, en una medición reflectiva, los indicadores son altamente correlacionados y son intercambiables, lo cual requiere de la medición de su confiabilidad y validez. En la modelación en el programa SmartPLS 3, estos enfoques de medición están representados por flechas. Como se puede observar en la figura anterior, en el caso de las variables formativas, las flechas tienen una dirección que va desde los indicadores a dichas variables. Por el contrario, en el caso de las variables reflectivas, las flechas tienen dirección contraria y van desde las variables a los indicadores. Además, se puede observar que, en el caso del modelo interno, la dirección de las flechas indica la dependencia entre dos variables, saliendo de la variable independiente y llegando a la variable dependiente.

En la presente investigación, el enfoque de estudio es reflectivo en todas las variables dependientes e independientes. Esto pues, la clasificación de las 22 afirmaciones se realizó categorizando cada una de ellas dentro de un factor, ya sea de la Industria o percepción de los encuestados, de manera que exista correlación entre las relacionadas a un factor. El modelo por emplear en la modelación PLS-SEM en el software SmartPLS 3 es presentado en la figura 42.

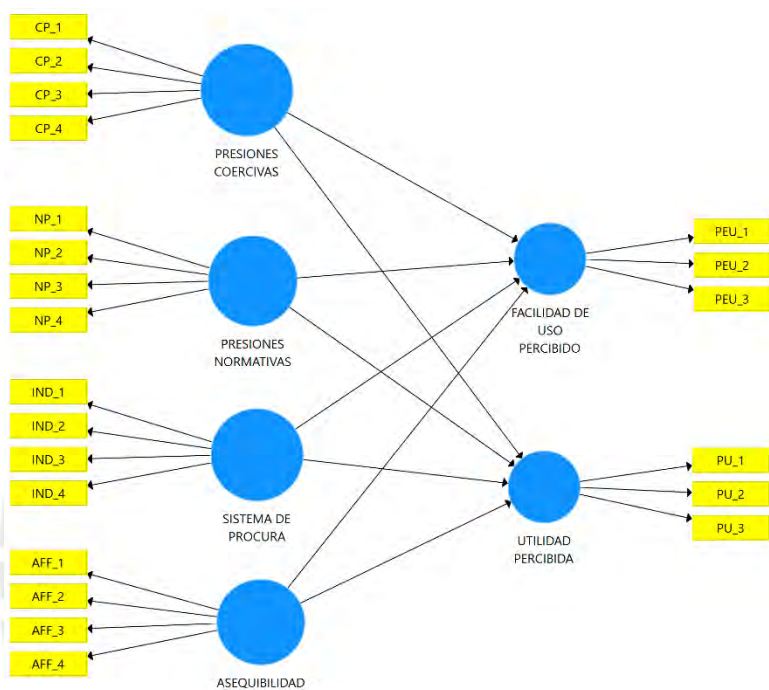


Figura 42. Modelo final para la modelación en SmartPLS 3

4.3.10.3 Preparación de datos

La base de datos obtenida luego de la limpieza de datos debe adecuarse al formato aceptado por el software SmartPLS 3. Para ello, se debe tener en cuenta ciertos requerimientos. En primer lugar, las etiquetas de las respuestas por columna deben situarse en la primera fila de la hoja de cálculo, caracterizando al indicador correspondiente. Además, el contenido no debe tener celdas en blanco ni errores de fórmula o de valores. Finalmente, la hoja de Excel debe ser convertida a un archivo del tipo CSV (archivo delimitado por comas) para su correcto procesamiento por el software.

4.3.10.4 Pautas para la modelación PLS-SEM

De acuerdo con Wong (2013), independientemente del software que se utilice para la modelación PLS-SEM, el tamaño de la muestra apropiado debe ser correctamente definido en este tipo de modelación pues la modelación PLS-SEM es considerada todavía una técnica emergente. De acuerdo con Hair Jr, Hult, Ringle y Sarstedt (2016), el tamaño mínimo de una muestra puede ser establecido de acuerdo con las siguientes pautas: nivel de significancia, poder estadístico, el mínimo coeficiente de determinación (R^2) y el máximo número de flechas dirigidas a una variable latente. Siguiendo estas pautas, un estudio que requiere de la modelación PLS-SEM debe presentar un nivel de significancia de 5%, un poder estadístico de 80% y un valor de R^2 mínimo de 0.25 (Wong, 2013). Con el fin de cumplir con cada uno de los parámetros mencionados, Marcoulides y Saunders (2006), establecen el tamaño mínimo de muestra requerida en este tipo de investigación en base al número máximo de flechas dirigidas a una variable latente dentro del modelo (ver tabla 21).

Tabla 21
Tamaño mínimo de la muestra para una modelación PLS-SEM

Mínimo tamaño de la muestra	Máximo número de flechas dirigidas a una variable latente en el modelo
59	3
65	4
70	5
75	6
80	7
84	8
88	9
91	10

Nota: Extraído de “Editor's comments: PLS: a silver bullet?”, por Marcoulides, G. A., & Saunders, C., 2006.

En el modelo de la presente investigación (ver figura 42), el máximo número de flechas dirigidas a una variable latente es 4. Esto significa que el tamaño de la muestra debe ser mayor a 65 para poder satisfacer los requerimientos mínimos de este tipo de estudio. Sin embargo, Hoyle (1995) recomienda que el tamaño de la muestra debe encontrarse dentro del rango de 100 a 200 para

obtener mejores resultados en este tipo de investigación. La presente investigación cuenta con un tamaño de muestra de 268.

4.3.10.5 Ejecución del algoritmo PLS

El algoritmo PLS es ejecutado mediante el método de modelado de ruta propio de la modelación PLS. La ejecución de este algoritmo es mediante la opción “PLS Algorithm” en el software y, como entregable, se obtiene información resultante (salidas) mediante matrices de resultados. Al momento de ejecutar la opción “PLS Algorithm”, se solita unos ajustes básicos. De acuerdo con Wong (2013), los ajustes básicos recomendados son los siguientes: número de iteraciones máximo de 300 y un criterio de parada de 10^{-7} .

4.3.10.6 Evaluación de las salidas de la modelación PLS-SEM

Una vez ejecutada la herramienta “PLS Algorithm”, el modelo se actualiza con números dentro de las variables y en las flechas. En cuanto a los números dentro de las variables, estos representan en cuánto la varianza de la variable latente dependiente es explicada por sus variables latentes independientes. Con respecto a los números en las flechas, estos son llamados coeficientes de ruta o “path coefficient” e indican cuán fuerte es el efecto de una variable sobre otra. Los coeficientes de ruta permiten clasificar a las variables independientes de acuerdo con su importancia que tienen sobre la variable dependiente. De acuerdo con Wong (2013), existe una relación estadísticamente significativa si el coeficiente de ruta es mayor a 0.1 y, mientras mayor sea su valor, mayor será la relación entre variables.

El software ofrece mucha información respecto al modelo mediante salidas. Estas salidas deben ser evaluadas con el fin de obtener un modelo más aceptable. La tabla 22 presenta los requerimientos de cada elemento a evaluar en una modelación PLS-SEM. A continuación, se detallan estos elementos.

Tabla 22
Evaluación de la confiabilidad y validez de una modelación PLS-SEM

Elemento por evaluar	¿Qué buscar en SmartPLS?	Criterio de validación
Confiabilidad		
Confiabilidad de los indicadores (“Indicator reliability” en el programa)	Valores de “outer loadings” (cargas externas)	Es preferible valores mayores a 0.7. En una investigación exploratoria, los valores mayores a 0.4 son aceptables (Hulland, 1999).
Confiabilidad de la consistencia interna (“Internal consistency reliability” en el programa)	Valores de “Composite Reliability” (confiabilidad compuesta)	Valores mayores a 0.70. En una investigación exploratoria, valores mayores a 0.6 son aceptables (Bagozzi & Yi, 1988)
Validez		
Validez convergente (“Convergent validity” en el programa)	Valores de “AVE” (“Average Variance Extracted” por sus siglas en ingles)	Valores mayores a 0.5 (Bagozzi & Yi, 1988)
Validez discriminante (“Discriminant validity” en el programa)	Matriz de “Discriminant validity”	De acuerdo con Fornell y Larcker (1981), el cuadrado de las correlaciones debe ser menor a los AVE’s

Nota: Adaptado de “Partial least squares structural equation modelling (PLS-SEM) techniques using SmartPLS”, por Wong, K. K. K., 2013.

4.3.10.6.1 Confiabilidad de los indicadores

La confiabilidad de los indicadores o “Indicator reliability” es el primer indicador de validez del modelo empleado. Para su evaluación, se emplean las cargas externas u “outer loadings”. De acuerdo con la tabla 22, los valores de las cargas externas deben ser mayores a 0.7, o 0.4 si es una investigación exploratoria. En la presente investigación, se emplea un valor de 0.4 pues este estudio es uno de los primeros acercamientos al tema de investigación propuesto en Lima Metropolitana y Callao, además de que el tamaño de muestra es mayor a 200. En el caso de que

alguna carga externa sea menor al valor mínimo establecido, se procede a eliminar el indicador respectivo del modelo y se ejecuta nuevamente la herramienta “PLS Algorithm”. Este proceso se debe repetir hasta que todas las cargas externas tengan valores mayores al mínimo establecido en la investigación.

4.3.10.6.2 Confiabilidad de la consistencia interna

De acuerdo con Wong (2013), la confiabilidad de la consistencia interna o “Internal consistency reliability” es evaluada tradicionalmente de acuerdo con los valores de alfa de Cronbach. Sin embargo, este parámetro otorga una medición muy conservativa en la modelación PLS-SEM. Ante ello, Bagozzi y Yi (1988) y Hair et al. (2016) proponen el empleo de los valores de Confiabilidad Compuesta o “Composite Reliability” (CR por sus siglas en inglés) para esta evaluación. De acuerdo con la tabla 22 y a las características de la presente investigación, los valores de CR deben ser mayores a 0.6. En caso contrario, se debe retirar dicho indicador y realizar nuevamente la ejecución de la herramienta “PLS Algorithm”.

4.3.10.6.3 Validez convergente

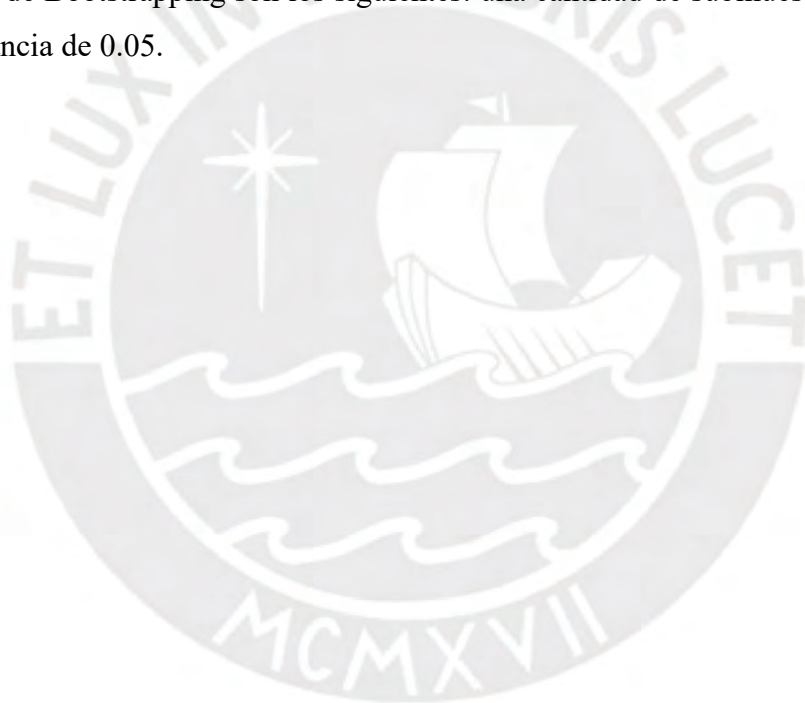
La validez convergente o “Convergent validity” se evalúa mediante los valores de AVE (“Average Variance Extracted” por sus siglas en inglés) de cada variable latente. De acuerdo con la tabla 22, estos valores deben ser mayores a 0.5; de lo contrario, se debe revisar los valores de confiabilidad de los indicadores y, en caso todos cumplan con el mínimo requerido, se debe aumentar este valor mínimo hasta que los valores de AVE sean iguales o mayores a 0.5.

4.3.10.6.4 Validez discriminante

De acuerdo con la tabla 22, la validez discriminante o “Divergent validity” es evaluada mediante la matriz de Fornell y Larcker. En esta matriz, se debe evaluar que su diagonal contenga los valores mayores por cada columna.

4.3.10.7 Verificación de la ruta estructural por Bootstrapping

El procedimiento de “Bootstrapping” es una herramienta de software SmartPLS 3 que permite generar valores de “t-stadistics” y “p-values” de las variables latentes del modelo interno con el fin de establecer su significancia. Por un lado, en el caso de emplear los valores de “t-stadistics”, la relación entre variables o dependencia de una sobre otra será significativa si es que el valor de “t-stadistics” es mayor a 1.96. Por otro lado, en el caso de emplear los valores de “p-values”, la relación entre variables será significativa si el valor de p-value es menor a 0.05 y será altamente significativa si es menor a 0.01. También se emplea el valor de 0.001 para mencionar una relación mucho más fuerte. De acuerdo con Wong (2013), los ajustes básicos recomendados para realizar el procedimiento de Bootstrapping son los siguientes: una cantidad de submuestras de 5000 y un nivel de significancia de 0.05.



CAPÍTULO 5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la encuesta de investigación

5.1.1 Información general de encuestados

5.1.1.1 Profesión

De los 268 encuestados, 248 fueron ingenieros civiles, 15 fueron arquitectos y 5 ejercían una profesión diferente. En la figura 43, se muestra esta distribución de profesiones.

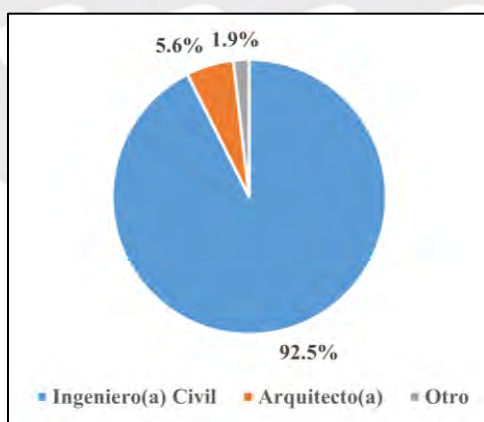


Figura 43. Profesión de los encuestados

5.1.1.2 Años de experiencia laboral

121 encuestados presentaron una mayor tendencia de experiencia laboral en años entre el rango de 5 a 10 años (45%). La menor tendencia se observó en profesionales con una experiencia laboral mayor a 15 años (14%). Estos resultados se pueden observar en la figura 44.

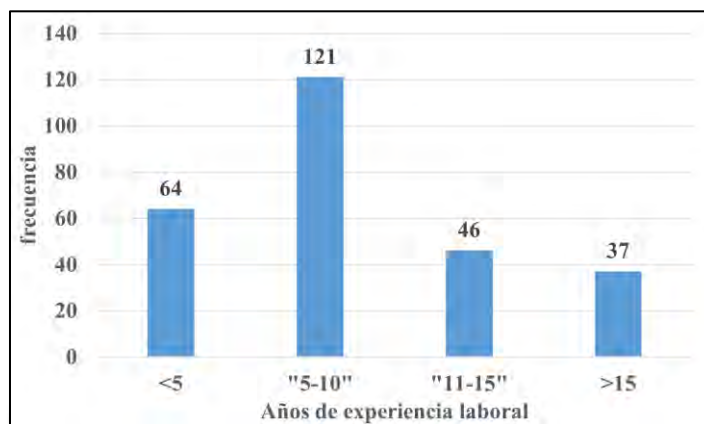


Figura 44. Años de experiencia laboral de los encuestados

5.1.1.3 Años de experiencia laboral con BIM

Los encuestados presentaron una mayor tendencia en no contar con experiencia laboral con BIM (41%). Además, los profesionales encuestados fueron de menor frecuencia a medida que contaban con mayor experiencia laboral con BIM (ver figura 45).

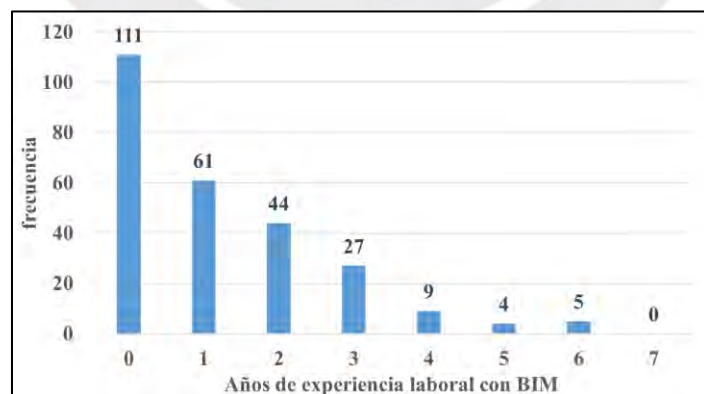


Figura 45. Años de experiencia laboral con BIM

5.1.1.4 Concepto BIM

El concepto BIM que presentó una tendencia predominante fue “Metodología para diseño, construcción y operación” (77%). Además, 57 encuestados señalaron que BIM es una “Tecnología para modelado 3D y detección de incompatibilidades” (21%). Estos resultados se pueden observar en la figura 46.

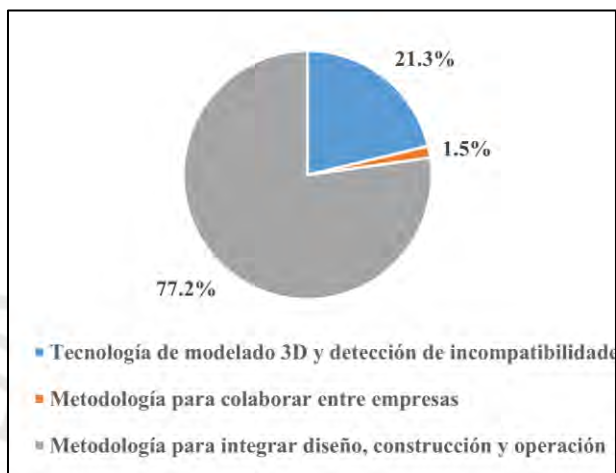


Figura 46. Concepto más cercano de BIM

5.1.2 Percepciones de las características innovativas BIM

Las respuestas obtenidas de las percepciones de los encuestados presentaron, en su mayoría, fueron “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo” con una mínima presencia de desacuerdo de una parte de los encuestados. Estos resultados se pueden observar en la tabla 23 y el contraste de respuestas entre indicadores se pueden observar en la figura 47.

Tabla 23

Percepción de las características innovativas BIM de los encuestados

Percepción	Indicador	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	
		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	En desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni desacuerdo	Ni en acuerdo ni desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
Facilidad de uso percibido	Es fácil gestionar proyectos con BIM	8	3%	33	12%	74	28%	122	46%	31	12%
	Es fácil aprender el uso de las herramientas BIM	4	1%	17	6%	66	25%	146	54%	35	13%
	Es fácil desarrollar nuevos estándares de trabajo con BIM	4	1%	34	13%	75	28%	133	50%	22	8%
Utilidad percibida	BIM permite reducir los retrabajos y mejorar la productividad	2	1%	2	1%	21	8%	123	46%	120	45%
	BIM es una solución a los problemas de información de los proyectos	4	1%	10	4%	22	8%	144	54%	88	33%
	BIM permite reducir costos y plazos de las obras	2	1%	8	3%	30	11%	132	49%	96	36%

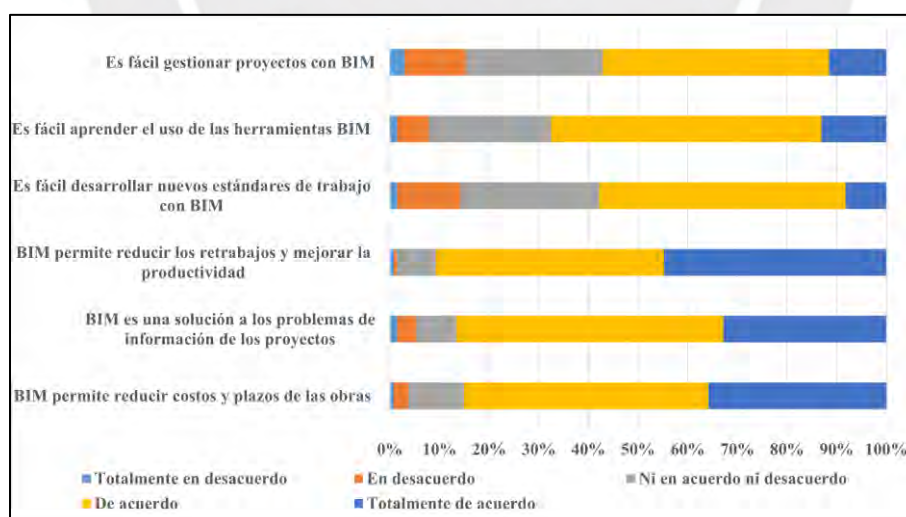


Figura 47. Comparación entre indicadores de percepción BIM de los encuestados

5.1.3 Factores del contexto de la Industria

5.1.3.1 Presión coerciva

La presión coerciva percibida por los encuestados se puede observar en la tabla 24 y figura 48.

Tabla 24
Presiones coercivas de la Industria

Factor de la Industria	Indicador	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	
		Totalmente en desacuerdo		En desacuerdo		Ni en acuerdo ni desacuerdo		De acuerdo		Totalmente de acuerdo	
Presión coerciva	BIM requiere estándares para crear modelos	2	1%	26	10%	35	13%	148	55%	57	21%
	BIM requiere estándares de procesos para compartir modelos	2	1%	18	7%	36	13%	157	59%	55	21%
	BIM requiere librerías de objetos estándar	2	1%	23	9%	43	16%	148	55%	52	19%
	BIM requiere estándares de contratos colaborativos	3	1%	24	9%	47	18%	137	51%	57	21%

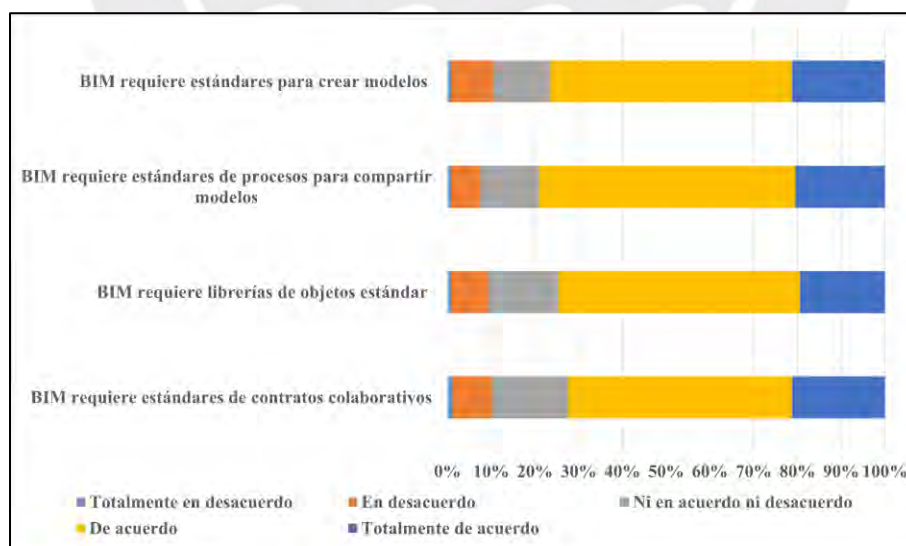


Figura 48. Comparación entre indicadores de presión coerciva de la Industria

5.1.3.2 Presión normativa

La presión normativa percibida por los encuestados se puede observar en la tabla 25 y figura 49.

Tabla 25
Presiones normativas de la Industria

Factor de la Industria	Indicador	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	
		Totalmente en desacuerdo		En desacuerdo		Ni en acuerdo ni desacuerdo		De acuerdo		Totalmente de acuerdo	
Presión normativa	Los cursos BIM disponibles enseñan modelado 3D	3	1%	19	7%	47	18%	160	60%	39	15%
	Los cursos BIM disponibles enseñan flujos colaborativos	6	2%	51	19%	100	37%	97	36%	14	5%
	Las universidades enseñan BIM	33	12%	88	33%	75	28%	66	25%	6	2%
	Los graduados de ingeniería y arquitectura saben de BIM	28	10%	91	34%	69	26%	75	28%	5	2%

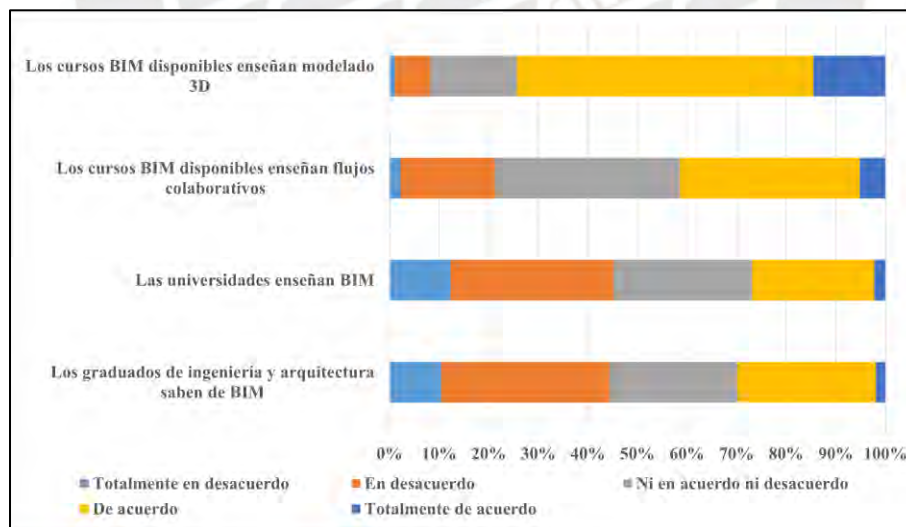


Figura 49. Comparación entre indicadores de presión normativa de la Industria

5.1.3.3 Sistema de procura

El efecto del sistema de procura se muestra en la tabla 26 y figura 50.

Tabla 26
Efecto del sistema de procura

Factor de la Industria	Indicador	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	
		Totalmente en desacuerdo		En desacuerdo		Ni en acuerdo ni desacuerdo		De acuerdo		Totalmente de acuerdo	
Sistema de procura	La política del cliente en el costo más bajo limita el uso de BIM	17	6%	41	15%	45	17%	118	44%	47	18%
	El foco de la industria en tiempo y acción inmediata limita el uso de BIM	14	5%	63	24%	79	29%	92	34%	20	7%
	Las relaciones de corto plazo entre empresas limitan el uso de BIM	9	3%	48	18%	48	18%	132	49%	31	12%
	Las relaciones adversarias entre empresas limitan el uso de BIM	22	8%	76	28%	63	24%	94	35%	13	5%

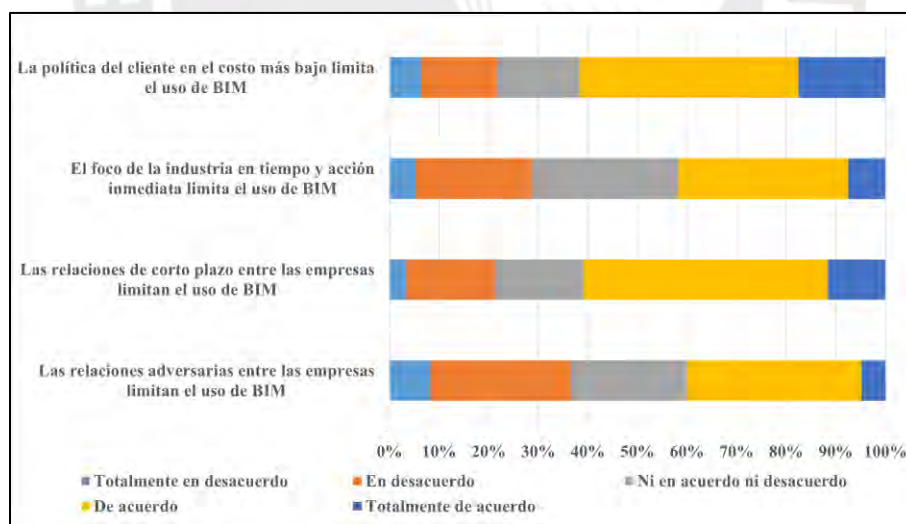


Figura 50. Comparación entre los indicadores del sistema de procura

5.1.3.4 Asequibilidad

La asequibilidad BIM percibida por los encuestados se muestra en la tabla 27 y figura 51.

Tabla 27
Asequibilidad BIM

Factor de la Industria	Indicador	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	
		Totalmente en desacuerdo		En desacuerdo		Ni en acuerdo ni desacuerdo		De acuerdo		Totalmente de acuerdo	
Asequibilidad	El software y hardware BIM es de precio asequible en el mercado	18	7%	80	30%	106	40%	57	21%	7	3%
	El cliente conoce y paga por BIM	35	13%	81	30%	75	28%	70	26%	7	3%
	El costo de consultores BIM es de precio asequible en el mercado	5	2%	68	25%	104	39%	85	32%	6	2%
	La capacitación en BIM es de precio asequible en el mercado	5	2%	49	18%	87	32%	119	44%	8	3%

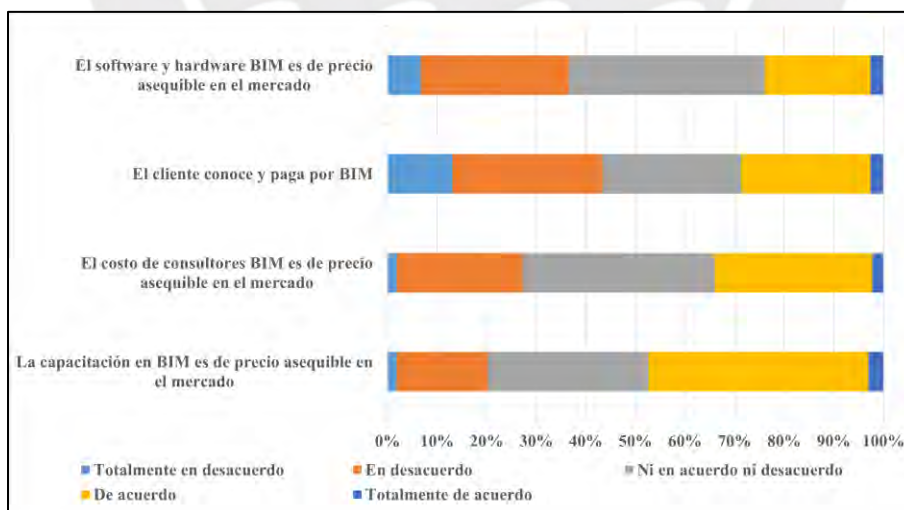


Figura 51. Comparación entre indicadores de asequibilidad BIM

5.2 Resultados de la modelación PLS-SEM

5.2.1 Resultados del algoritmo PLS en la modelación

Se realizaron dos iteraciones en la modelación PLS-SEM. En primer lugar, se incluyeron todos los indicadores y luego fueron extraídos los indicadores “NP_3” y “NP_4” puesto que sus cargas externas no cumplían con un valor mayor a 0.4. De esta manera, la figura 52 muestra la primera iteración con todos los valores de cargas externas y la figura 53 muestra la segunda iteración con los valores de cargas externas actualizados. El modelo de la segunda iteración constituye el modelo final empleado para las siguientes evaluaciones.

5.2.1.1 Primera iteración

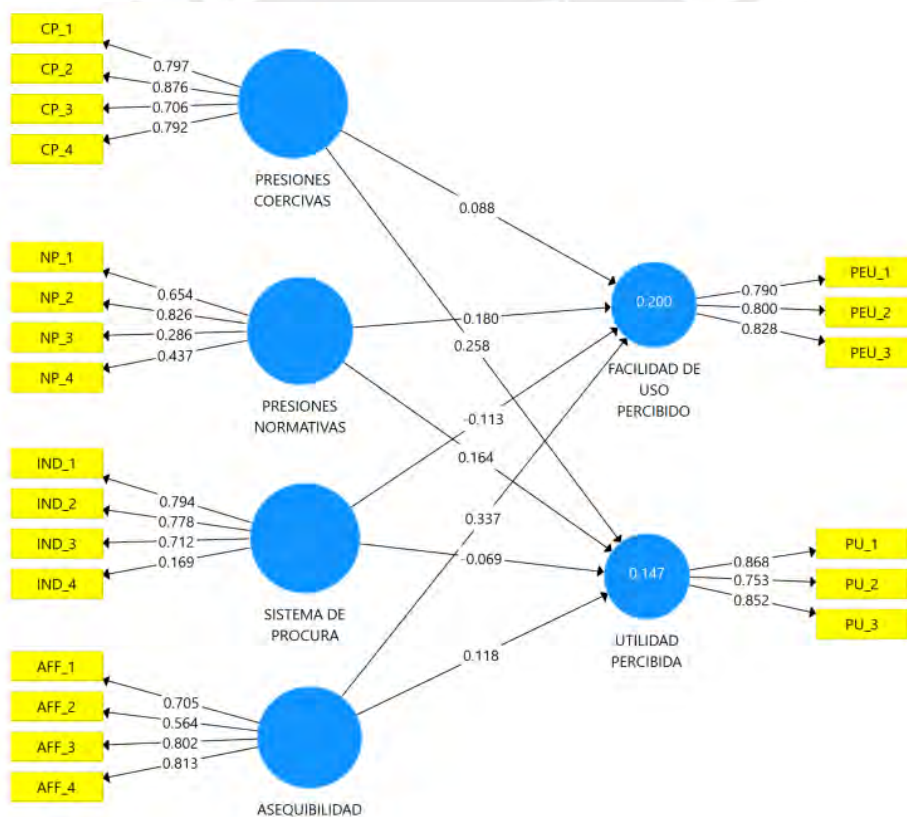


Figura 52. Modelo de primera iteración en SmartPLS 3

5.2.1.2 Segunda iteración

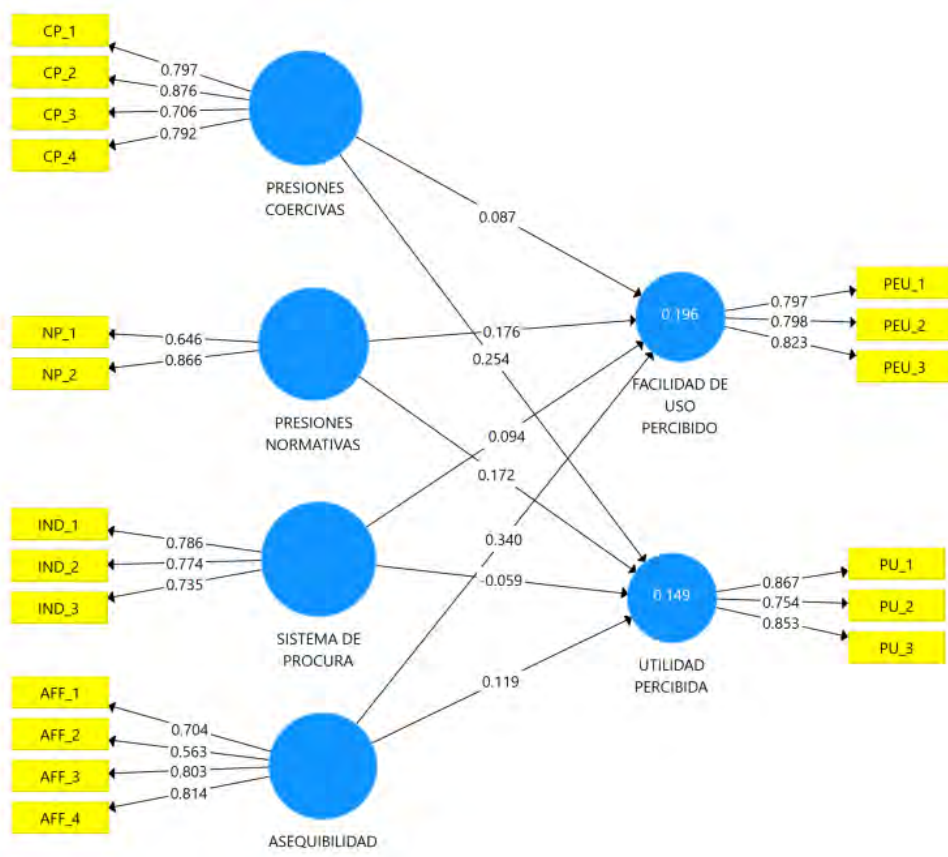


Figura 53. Modelo de segunda iteración en SmartPLS 3

5.2.2 Salidas de la modelación PLS-SEM

5.2.2.1 Confiabilidad y validez convergente del modelo

El modelo de iteración 2 cumplió con todos los aspectos de confiabilidad y validez convergente presentados en el Capítulo 4. En la tabla 28, se presentan los valores de cargas externas, CR y AVE por indicador y por variable latente.

Tabla 28
Confiabilidad y validez convergente del modelo final

Variable latente	Indicador	Cargas externas “Outer loadings”	CR	AVE		
Presiones coercivas	CP_1	0.797	0.872	0.632		
	CP_2	0.876				
	CP_3	0.706				
	CP_4	0.792				
Presiones normativas	NP_1	0.646	0.733	0.584		
	NP_2	0.866				
	NP_3	<0.4			-	-
	NP_4	<0.4			-	-
Sistema de procura	IND_1	0.786	0.809	0.586		
	IND_2	0.774				
	IND_3	0.735				
	IND_4	<0.4			-	-
Asequibilidad	AFF_1	0.704	0.816	0.53		
	AFF_2	0.563				
	AFF_3	0.803				
	AFF_4	0.814				
Facilidad de uso percibido	PEU_1	0.797	0.848	0.65		
	PEU_2	0.798				
	PEU_3	0.823				
Utilidad percibida	PU_1	0.867	0.865	0.682		
	PU_2	0.754				
	PU_3	0.853				

5.2.2.2 Validez discriminante del modelo

La validez discriminante del segundo modelo de iteración cumplió con lo establecido por Fornell y Larcker(1981). La matriz evaluada puede ser observada en la tabla 29.

Tabla 29

Matriz de validez discriminante según el criterio de Fornell y Larcker

	Asequibilidad	Facilidad de uso percibido	Sistema de procura	Presiones coercivas	Presiones normativas	Utilidad percibida
Asequibilidad	0.728					
Facilidad de uso percibido	0.376	0.806				
Sistema de procura	0.097	0.164	0.795			
Presiones coercivas	0.123	0.251	0.337	0.764		
Presiones normativas	-0.058	-0.108	0.159	-0.045	0.766	
Utilidad percibida	0.168	0.365	0.314	0.275	-0.034	0.826

5.2.2.3 Proceso de Bootstrapping

El proceso de Bootstrapping fue realizado con todas las configuraciones básicas indicadas en el Capítulo 4. De esta manera, se obtuvieron los valores de “t-statistics” y “p-values” de las relaciones entre variables latentes. En la tabla 30, se muestran estos resultados finales más importantes de la modelación PLS-SEM en SmartPLS 3.

Tabla 30

Resultados del proceso de Bootstrapping

Relación de variables latentes	Betta?	t-statistics	p-values
Asequibilidad ----> Facilidad de uso percibido	0.056	6.062	0.000**
Asequibilidad ----> Utilidad percibida	0.062	1.927	0.054
Sistema de procura ----> Facilidad de uso percibido	0.074	1.268	0.205
Sistema de procura ----> Utilidad percibida	0.091	0.655	0.513
Presiones coercivas ----> Facilidad de uso percibido	0.073	1.188	0.235
Presiones coercivas ----> Utilidad percibida	0.077	3.307	0.001**
Presiones normativas ----> Facilidad de uso percibido	0.067	2.638	0.008**
Presiones normativas ----> Utilidad percibida	0.066	2.599	0.009**

Nota: **:p<0.01, *:p<0.05

5.3 Evaluación de hipótesis del modelo de investigación

Las hipótesis planteadas en la tabla 15 son evaluadas de acuerdo con la tabla 30 para su aceptación y rechazo. A continuación, la tabla 31 presenta los resultados de dicha evaluación:

Tabla 31
Evaluación de hipótesis del modelo de investigación propuesto

Nº Hipótesis	Hipótesis de investigación	Evaluación
Hipótesis 1	Las Presiones Coercivas influyen en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Aceptada
Hipótesis 2	Las Presiones Normativas influyen en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Aceptada (casi 0.05)
Hipótesis 3	El Sistema de Procura de un proyecto de construcción influye en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Rechazada
Hipótesis 4	La Asequibilidad de adoptar un entorno BIM influye en la Facilidad de Uso Percibido de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Rechazada
Hipótesis 5	Las Presiones Coercivas influyen en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Rechazada
Hipótesis 6	Las Presiones Normativas influyen en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Aceptada
Hipótesis 7	El Sistema de Procura de un proyecto de construcción influye en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Aceptada
Hipótesis 8	La Asequibilidad de adoptar un entorno BIM influye en la Utilidad Percibida de BIM de los profesionales de la Industria AEC	Aceptada

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 En relación con la muestra encuestada

Los profesionales encuestados presentaron una tendencia muy clara de no contar con años de experiencia laboral con BIM. Esta tendencia es natural debido al nivel de madurez de la Industria; sin embargo, se pueden obtener enseñanzas importantes de sus percepciones. De la figura 45, se puede rescatar que la mayor parte de los encuestados poseen entre 0 y 1 año de experiencia laborando con BIM (61%). De esta observación, se puede concluir que la mayor parte de la muestra se encuentra dentro de su etapa de preparación BIM o etapa BIM 1 en el mejor de los casos y alentadoramente solo una pequeña fracción del total puede tener una capacidad BIM referida a la etapa BIM 2.

6.2 En relación con el concepto BIM

El concepto BIM predominante es “Metodología para diseño, construcción y operación” con un 77%, frente al 21% que considera aún a BIM como una “Tecnología de modelado 3D y detección de incompatibilidades”. Es importante resaltar que existe una reconocida reducción en observar a BIM como una tecnología con respecto al 2017, donde cerca del 70% de la población consideraba a BIM como una tecnología para el modelado 3D (ver figura 18). Sin embargo, si bien BIM es observado como una metodología de trabajo para la gestión de información de un proyecto de construcción, los resultados de esta sección no muestran indicio alguno que BIM haya comenzado

a ser reconocido por el trabajo colaborativo que lo caracteriza. Por tanto, se concluye que BIM es observado como una metodología de integración de información y que la referencia hacia el mismo como una tecnología de modelado ha disminuido considerablemente dentro de los 3 últimos años; sin embargo, dentro del concepto BIM sostenido por la población, no existe indicio que se relacione a BIM como una metodología de colaboración entre empresas.

6.3 En relación con las percepciones de BIM

Por un lado, con respecto a la facilidad de uso percibido de BIM por los usuarios, más del 50% afirman los indicadores relacionados a dicho factor y tan solo cerca del 15% lo niegan. Este resultado, en conjunto con el hecho de que la mayoría de encuestados no posean experiencia laboral en BIM, permite concluir que, en la teoría, BIM es reconocido por la facilidad de manejo de sus herramientas en la gestión de la información y en el desarrollo de nuevos estándares de trabajo.

Por otro lado, con respecto a la utilidad percibida de BIM, más del 80% de encuestados confirman los indicadores de este factor. Este resultado permite concluir que, al 2020, la población observa a BIM como una metodología que permite reducir los retrabajos; mejorar la productividad; disminuir el costo y plazos de las obras; y solucionar los problemas de información en los proyectos de construcción.

A las conclusiones dentro de esta sección, se puede añadir una evaluación del incremento en la percepción de BIM en general pues los indicadores evaluados fueron también encuestados en el Primer Estudio de Adopción BIM del 2017 (ver figura 20). En la figura 54, se puede observar el incremento reconocible en la confirmación de cada uno de los indicadores de Facilidad de Uso Percibido (más del 30%). Por el lado de la Utilidad Percibida, se puede señalar que esta se ha mantenido en un porcentaje muy alto y constante. Por tanto, se concluye que las percepciones de BIM al 2020 son altamente positivas, resaltando que la facilidad de uso de BIM ha incrementado reconociblemente dentro de los últimos 3 años.

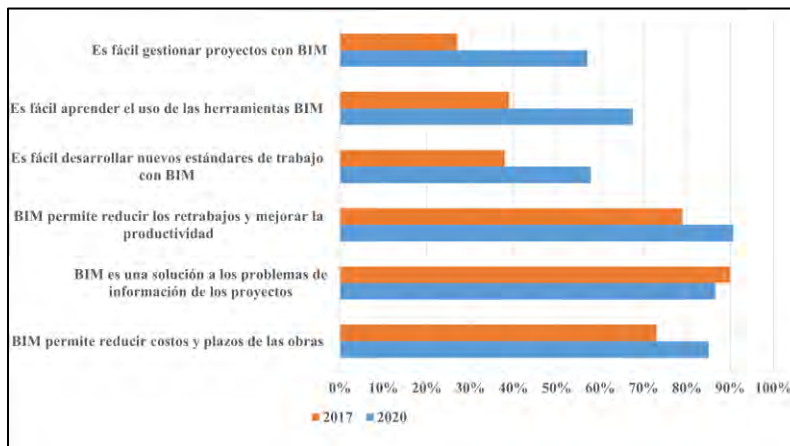


Figura 54. Comparación de percepción BIM entre los años 2017 y 2020 en Lima Metropolitana y Callao

6.4 En relación con los factores del contexto de la Industria

6.4.1 Presión coerciva

Los indicadores de presión coerciva evalúan la estandarización percibida por los encuestados. En todos los casos, más del 70% confirman que BIM es una metodología sujeta a estandarización en sus procesos. Por tanto, se concluye que, al 2020, la población tiene conocimiento de la estandarización que requiere implementar BIM en un proyecto. Además, dado el hecho de que la población encuestada no posee vasta experiencia laboral con BIM, se permite resaltar la importancia de que se elaboren guías o normativas que permitan la correcta implementación de BIM en los futuros proyectos de construcción. De esta manera, no solo se incentiva la estandarización a nivel nacional, sino también se permite que los futuros profesionales de construcción desarrollen una mejor fase de preparación BIM y se incremente los resultados de adopción BIM en la Industria.

Con respecto a la modelación PLS-SEM, en cuanto a las presiones coercivas, estas no tienen una relación significativa con la facilidad de uso percibido ($p > 0.05$); sin embargo, sí tienen una relación altamente significativa con la utilidad percibida ($p < 0.01$). Por tanto, se concluye que los estándares de la Industria influyen altamente en la percepción de utilidad de BIM de los profesionales. Teniendo en cuenta que la utilidad es una medida de satisfacción generada por la

experiencia de uso, los resultados muestran que para un correcto desarrollo del proceso de adopción BIM, la existencia de estándares y políticas BIM permiten un mejor desempeño y facilitan la adopción de las herramientas innovativas BIM, además que orientan y regulan los cambios organizacionales dentro de la Empresa que BIM requiere.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta sección son relacionados con los estudios de macro adopción presentados en el Capítulo 3. Estos resultados concuerdan con los hallazgos obtenidos el 2019 en el estudio de macro adopción en Perú, en el cual se indica que los componentes “Partes Estandarizadas y Entregables” y “Marco Normativo” poseen madurez baja (ver figura 34). Además, de acuerdo con la figura 35, la dinámica de difusión en Perú es radial; por tanto, los principales emisores de la presión coerciva son las empresas grandes o asociaciones de la Industria (CAPECO, CIP, etc.) hacia las empresas de la cadena de suministro y miembros de dichas asociaciones. Asimismo, es importante que los formuladores de política aprovechen su actual intervención pasiva de “sensibilizar, fomentar y observar” (ver figura 36), para que se expongan los beneficios de alcanzar una meta ambiciosa y beneficiosa de estandarización en la adopción BIM. Si bien a nivel mundial no se presenta una madurez promedio resaltante en cuanto a estandarización y regulaciones (ver figura 30), es posible observar como guías de mejores prácticas a China, Finlandia y Reino Unido, países con una madurez rescatable en los componentes III y VII de su modelo de macro adopción B. Finalmente, es importante resaltar de estos países que la difusión BIM dentro de los mismos es altamente impulsada por las organizaciones de la Industria (ver figura 32), las cuales, en el caso de Perú, son las empresas constructoras usando BIM por ventaja comparativa. Ya que se cuenta con una difusión radial en nuestro país, este tipo de presión normativa da paso también al incentivo de generar presiones miméticas por parte de las empresas constructoras, no solo con el fin de generar competitividad sana, sino también de que se difundan las buenas prácticas que apunten a una futura estandarización BIM en el país.

6.4.2 Presión normativa

Los indicadores de presión normativa evaluados fueron definidos con el fin de analizar el efecto de la educación y entrenamiento BIM existente al 2020.

Por un lado, más del 70% de encuestados confirman que los cursos BIM disponibles en el medio enseñan modelado 3D; sin embargo, solamente cerca del 40% confirman que se enseñan flujos colaborativos en dichos cursos. De estos resultados, se concluye que, pese a que existe un reconocible apoyo de la Industria en la adopción de las herramientas de modelado BIM, la colaboración de BIM no es sumamente impulsada por la Academia. Estos resultados pueden favorecer en cierta medida a los usuarios dentro de la fase de preparación BIM y desarrollo de capacidad BIM de la Etapa BIM 1. Sin embargo, el entrenamiento BIM disponible no permite un correcto desarrollo de los saltos de capacidad necesarios para obtener una capacidad BIM de la Etapa BIM 2 o 3. Para lograr estos saltos, en primer lugar, se debe prestar suma atención en los pasos BIM referidos a dichos saltos de capacidad. De esta manera, la Academia e impulsores BIM permitirán un mejor desarrollo del proceso de adopción BIM de los profesionales de construcción.

Por otro lado, tan solo el 30% de encuestados confirma que las universidades enseñan BIM y que los graduados de ingeniería y arquitectura conocen del mismo. De estos resultados, se concluye que el actual apoyo por parte de las universidades, colegios profesionales y actores BIM relacionados con el entrenamiento BIM es mínimo. El esfuerzo para aumentar esta cifra de centros de entrenamiento BIM debe ser generado por parte de las Instituciones Educativas en incluir a los cursos BIM dentro de las mallas curriculares como cursos obligatorios.

Con respecto a la modelación PLS-SEM, en cuanto a las presiones normativas, estas presentan una relación altamente significativa con respecto a ambas variables dependientes ($p < 0.01$). Por tanto, estos resultados también resaltan el indispensable rol de la Academia y de los centros de entrenamiento BIM en fomentar el desarrollo de las herramientas necesarias para la adopción BIM. Sin embargo, la labor de estos está no solo en desarrollar las competencias necesarias, sino también en fomentar una correcta cultura de BIM. Esto es, los impulsores BIM de la Academia deben redirigir el concepto manejado por los nuevos adoptantes en observar a BIM como una metodología colaborativa (ver figura 46), y eliminar paulatinamente el concepto de enlazar a BIM como una tecnología de modelado 3D o de gestión de información.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta sección son relacionados con los estudios de macro adopción presentados en el Capítulo 3. Estos resultados concuerdan con la madurez medio-bajo

del componente “Aprendizaje y Educación” del estudio de macro adopción BIM en Perú del 2019 (ver figura 34) y con la capacidad BIM de Perú centrada mayormente en una Etapa BIM 1 con inicios en una Etapa BIM 2 (ver figura 33). Es importante recalcar el rol de las Instituciones Educativas en este punto pues los países con mayor madurez del componente “Aprendizaje y Educación” son China, Irlanda y Reino Unido (ver figura 30), mismos países en los cuales las Instituciones Educativas poseen los índices más altos de actividad en la difusión BIM. Finalmente, también se espera que los formuladores de política pasen de desempeñar actividades pasivas a activas en los próximos años (ver figura 36). Esto pues los estudios señalan que la gran parte de países donde los formuladores de política cumplen un rol comunicativo activo de “Educar” (ver tabla 14) son los mismos que poseen una madurez rescatable en el componente “Aprendizaje y Educación” de su modelo de macro adopción B (ver figura 30).

6.4.3 Efecto del sistema de procura

El efecto del sistema de procura es considerablemente reconocido de acuerdo con los encuestados. Poco más del 60% afirman que el Cliente y su política de buscar la reducción de costos limitan la implementación de BIM en los proyectos. Además, cerca del 40% consideran que el foco de la Industria en tiempo y acción inmediata limita dicha implementación. Con respecto a las relaciones de un proyecto con stakeholders externos, 60% de encuestados confirman que las relaciones de corto plazo entre las empresas (cadena de suministro, subcontratistas, etc.) limitan la implementación de BIM y el 40% afirman que las relaciones adversarias entre empresas limitan el uso de BIM.

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la tradicional búsqueda de reducción de costos y tiempo de un proyecto de construcción es, hasta el momento, el factor clave en la decisión de la Empresa en adoptar BIM. Si bien la población ha confirmado poseer conocimiento de las utilidades de BIM, la tendencia muestra que el Cliente tiene un efecto mayor en la decisión final de implementación BIM en un proyecto. Además, la forma de organización de la Industria tiene una influencia reconocible en la adopción BIM mediante sus relaciones de corto y largo plazo entre los involucrados de un proyecto de construcción.

Con respecto a la modelación PLS-SEM, en cuanto al sistema de procura, esta variable no tiene una relación significativa con ninguna de las variables dependientes ($p > 0.05$). Este resultado, si bien no es esperado, puede ser justificado por las variables independientes relacionadas. Si bien el sistema de procura posee una alta influencia en el uso de BIM como se puede observar en la tabla 26, los indicadores del sistema de procura no están dirigidos a medir la facilidad de uso o utilidad percibida de BIM. Por el contrario, los indicadores permiten evaluar el efecto del contexto de la Industria sobre la adopción BIM. En este caso, lo más recomendado es evaluar los resultados tan solo por estadística descriptiva.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta sección son relacionados con los estudios de macro adopción presentados en el Capítulo 3. Estos resultados concuerdan con la dinámica de difusión BIM radial en el Perú. Esta reconoce que existe una presión ascendente de parte de las empresas contratistas hacia el Cliente, inmobiliarias y gerencias de BIM con el fin de incentivar el uso de BIM en proyectos (ver figura 35). Cabe señalar que la dinámica de difusión BIM radial es la desarrollada por la mayor parte de países evaluados en la sección de macro adopción BIM, siendo 16 de los 21 países los cuales adoptan dicha dinámica (ver tabla 13).

6.4.4 Efecto de la asequibilidad

Los indicadores de esta sección permiten observar la asequibilidad de desarrollar y costear la adopción BIM según los encuestados. Solo cerca del 20% de encuestados considera que el software y hardware BIM es de precio asequible, mientras que alrededor del 60% considera que el costo de consultoría y capacitación en BIM es de precio asequible. Además, tan solo el 30% de encuestados considera que el Cliente conoce y finalmente apuesta por BIM.

De estos resultados, se concluye que la población considera no accesible el desarrollar un entorno BIM de trabajo. De esta manera, y teniendo en cuenta que el Cliente no apuesta por dicha metodología, se concluye además que BIM no sería desarrollado por las empresas debido a su poco apoyo y considerable costo de inversión. Esto indica que, a medida que el Cliente observe mejores utilidades y resultados dentro del mercado, existirán mayores probabilidades de apostar por dicha metodología innovativa invirtiendo en los costes relacionados.

Con respecto a la modelación PLS-SEM, en cuanto a la asequibilidad, este factor, por un lado, posee un impacto significativamente positivo sobre la facilidad de uso percibido por los encuestados ($p < 0.01$). Por otro lado, al evaluar la influencia de la asequibilidad sobre la utilidad percibida, el p-value es 0.054 (muy cercano a 0.05). Por ende, se puede considerar una relación significativa dada la cercanía al límite y el tamaño de la muestra de la investigación. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que el costo de las capacitaciones influye considerablemente en la facilidad y utilidad que los usuarios perciben de las herramientas BIM pues a mayor número de capacitaciones y orientaciones recibidas, mejor manejo y mayor conocimiento de las herramientas y procesos BIM se obtendrá en la Empresa. Como resultado de este último punto, no solo se mejora las competencias de los nuevos adoptantes y de la Empresa, sino que se obtiene un impacto positivo directo sobre el proceso de adopción BIM de los mismos.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta sección son relacionados con los estudios de macro adopción presentados en el Capítulo 3. Estos resultados se pueden relacionar con los anteriores resultados puesto que se ha obtenido que la mayoría de los profesionales se encuentra en una etapa inicial de preparación BIM o Etapa BIM 1 de capacidad y, teniendo en cuenta el foco actual de la Educación BIM en el modelado 3D, el uso de software de modelado 3D es considerablemente alto. Es importante señalar también el rol de los proveedores de software en esta sección puesto que internacionalmente se observa que los países con una mayor participación de los Proveedores de software (ver figura 32) tienen una madurez reconocible en su componente VIII de Infraestructura Tecnológica (ver figura 30), sin deslindar el rol importante que tienen los formuladores de política en la estandarización BIM, no solo en los requerimientos dentro del campo BIM de Procesos, sino también en el campo BIM de Tecnología (soluciones de software, hardware y equipamiento de oficina) como se puede observar en la tabla 1 de componentes del campo BIM e interacciones.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Introducción

Los objetivos de la presente tesis han estado dirigidos a determinar principalmente la influencia del contexto de la Industria en la adopción BIM de los profesionales de construcción. Para ello, en primer lugar, mediante revisión literaria, se han identificado todos los factores y determinantes que priman en dicha influencia. Luego, se ha ejecutado una encuesta de investigación, la cual ha tenido una recolección de datos presencial y virtual, y la cual ha permitido, con sus resultados, identificar los factores de la Industria con una influencia estadísticamente significativa. Para esto último, se implementó, además de un análisis descriptivo, un modelo de investigación de relación de variables y afirmaciones para ejecutar el software PLS-SEM mediante sus herramientas de estadística inferencial. Finalmente, los resultados se contrastaron con los estudios previos presentados en el Capítulo 3 para un mejor análisis y contextualización de los resultados. A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas para el análisis realizado en el Capítulo 6.

7.2 Factores de la Industria que afectan la adopción BIM

- Los factores influyentes en la adopción BIM se encuentran divididos en 3 grupos de impulsores: las percepciones innovativas BIM (utilidad percibida y facilidad de uso percibido), las características del entorno externo (presiones isomórficas y relación con el sistema procura) y las características del entorno interno (soporte de la alta gerencia y asequibilidad BIM).

7.3 Perfil actual de los profesionales de construcción

- Los profesionales encargados de los proyectos de construcción al 2020 se encuentran, en su mayoría, desarrollando una etapa de preparación BIM o, en minoría, poseen una capacidad BIM referida a la Etapa 1 de Modelado basado en objetos. Son solo casos puntuales en los que se observa un desarrollo de capacidad referida a la Etapa BIM 2 de Colaboración basada en el modelo.

7.4 Concepto BIM

- BIM es considerado como una metodología que integra la gestión de información durante las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Además, la referencia al mismo como solo una tecnología de modelado ha disminuido en más del 50% dentro de los últimos 3 años. Sin embargo, no se tiene evidencia de relacionar a BIM principalmente por su metodología de colaboración entre empresas.

7.5 Percepción de las herramientas innovativas BIM

- En la teoría, BIM es reconocido por la facilidad de manejo de sus herramientas en la gestión de la información y en el desarrollo de nuevos estándares de trabajo. Dentro de los últimos 3 años, la facilidad de uso percibido de BIM ha incrementado en más del 30%.
- Más del 80% de profesionales considera útil a BIM y lo reconoce como una metodología que permite reducir los retrabajos; mejorar la productividad; disminuir el costo y plazo de las obras; y solucionar los problemas de información en los proyectos de construcción.

7.6 Influencia de la Estandarización BIM en la adopción BIM

- La presión coerciva, medida en base a la estandarización BIM, influye significativamente en el proceso de adopción BIM. En ese sentido, se resalta la importancia de contar con guías o normativas BIM que acompañen y orienten a los nuevos adoptantes a un mejor proceso de adopción desde la fase de preparación BIM. La estandarización BIM tiene un

efecto estadísticamente importante en la utilidad BIM percibida. La existencia de estándares y políticas BIM permiten un mejor desempeño en el manejo de las herramientas innovativas BIM y regulan los cambios organizacionales dentro de la Empresa necesarios en la adopción BIM.

- Los principales actores BIM que emiten presión coerciva en el Perú son las empresas grandes o asociaciones de la Industria (CAPECO, CIP, etc). Esta presión es ejercida principalmente sobre las empresas de la cadena de suministro y miembros de dichas asociaciones.
- Es esencial que los formuladores de política aprovechen su actual intervención pasiva en la macro adopción BIM del Perú para exponer los beneficios de lograr una estandarización en los campos de Procesos, Tecnologías y Políticas de la adopción BIM.
- Gracias a la difusión BIM radial del Perú, los objetivos de estandarización BIM de las presiones coercivas pueden verse apoyados por la presencia de presiones miméticas ejercidas por las empresas constructoras al trasladar buenas prácticas que apunten a una futura estandarización BIM en el país.

7.7 Influencia de la Educación/Entrenamiento BIM en la adopción BIM

- Las presiones coercivas (educación/entrenamiento BIM) ejercidas por la Industria están dirigidas principalmente al desarrollo de competencias de modelado BIM y no a los procesos colaborativos. Es necesario que la Academia aumente sus esfuerzos por impulsar el desarrollo de competencias que permitan los saltos de capacidad necesarios para obtener una capacidad BIM referida a una Etapa BIM 2 de Colaboración o Etapa BIM 3 de Integración.
- El apoyo de los centros de entrenamiento BIM es mínimo y el primer esfuerzo frente a dicha situación debe ser generado por los Instituciones Educativas mediante la inclusión de los cursos BIM en las mallas curriculares como cursos obligatorios.
- La educación/entrenamiento BIM tiene un efecto estadísticamente importante en la utilidad BIM percibida y en su facilidad de uso percibido. El rol de la Academia no solamente debe estar dirigido al desarrollo de competencias necesarias para la adopción BIM, sino que

también debe fomentar una correcta cultura de BIM que permita a los nuevos adoptantes reconocer a BIM como una metodología colaborativa.

- Las Instituciones Educativas y los formuladores de política (mediante un esperado rol comunicativo activo de “educar”) son los principales actores BIM encargados de que Perú obtenga una mayor madurez en Aprendizaje y Educación BIM de acuerdo con las referencias internacionales.

7.8 Influencia del sistema de procura en la adopción BIM

- El foco de la Industria en tiempo y acción inmediata limita e influye en la adopción BIM. La tradicional búsqueda de reducción de costos y tiempo en un proyecto de construcción es el principal factor en la decisión de una Empresa por adoptar BIM.
- La forma de organización de la Industria posee una influencia en la adopción BIM debido a las relaciones de corto y largo plazo entre involucrados de un proyecto de construcción.
- La adopción BIM en un proyecto de construcción es impulsada mediante una presión ascendente que parte de los contratistas hacia el Cliente, inmobiliarias y gerencias de BIM.
- El Cliente de un proyecto de construcción no apuesta totalmente por BIM ni posee vasto conocimiento del mismo. Se espera que, a medida que la difusión de utilidad y resultados de BIM en el mercado se difundan, este resultado tenga un cambio positivo.

7.9 Influencia de la asequibilidad de costear un entorno BIM en la adopción BIM

- El costo por desarrollar la adopción BIM no es asequible. Sin embargo, es una inversión requerida para incrementar la capacidad BIM en un proceso de adopción BIM.
- La asequibilidad BIM tiene un efecto estadísticamente importante en la utilidad BIM percibida y en su facilidad de uso percibido. Las capacitaciones, consultorías y equipamiento BIM son esenciales en el proceso de adopción BIM.
- Los proveedores de software y formuladores de política son los principales actores BIM encargados de que Perú obtenga una mayor madurez en Infraestructura Tecnológica BIM de acuerdo con las referencias internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, A. L., & Kassem, M. (2018). A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application. *Automation in Construction*, 96, 103-127.
- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of the academy of marketing science*, 16(1), 74-94.
- Branch, B., & Klaehn, J. (Eds.). (2002). *Striking the balance in microfinance: A practical guide to mobilizing savings*. Pact Publications.
- Cao, D., Li, H., & Wang, G. (2014). Impacts of isomorphic pressures on BIM adoption in construction projects. *Journal of construction engineering and management*, 140(12), 04014056.
- Castro, M. C. B., Carrión, G. A. C., & Roldán, J. L. (2007). Investigar en Economía de la Empresa: ¿ Partial Least Squares o modelos basados en la covarianza?. In *El comportamiento de la empresa ante entornos dinámicos: XIX Congreso anual y XV Congreso Hispano Francés de AEDEM* (p. 63). Asociación Española de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM).
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American sociological review*, 147-160.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.
- GCR, N. (2004). *Cost analysis of inadequate interoperability in the US capital facilities industry*. National Institute of Standards and Technology (NIST), 223-253.
- Haenlein, M., & Kaplan, A. M. (2004). A beginner's guide to partial least squares analysis. *Understanding statistics*, 3(4), 283-297.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1999). *Análisis multivariante* (Vol. 491). Madrid: Prentice Hall.

- Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2016). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). Sage publications.
- Holsapple, C. W., & Joshi, K. D. (2004). A knowledge management ontology. In Handbook on Knowledge Management 1 (pp. 89-124). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hoyle, R. H. (1995). Structural Equation Modeling. Thousand Oaks Inc.
- Hulland, J. (1999). Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies. Strategic management journal, 20(2), 195-204.
- Liang, H., Saraf, N., Hu, Q., & Xue, Y. (2007). Assimilation of enterprise systems: the effect of institutional pressures and the mediating role of top management. MIS quarterly, 59-87.
- Lockamy, A., & McCormack, K. (2004). The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. Supply Chain Management: An International Journal, 9(4), 272-278.
- Marcoulides, G. A., & Saunders, C. (2006). Editor's comments: PLS: a silver bullet?. MIS quarterly, iii-ix.
- Martínez Ávila, M., & Fierro Moreno, E. (2018). Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 8(16), 130-164.
- McCormack, K., Ladeira, M. B., & de Oliveira, M. P. V. (2008). Supply chain maturity and performance in Brazil. Supply Chain Management: An International Journal, 13(4), 272-282.
- Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J. (2017). Primer Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima y Callao 2017. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Murguía, D. (2019). Estudio de Macro Adopción BIM en Perú 2019. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

- Pinsonneault, A., & Kraemer, K. (1993). Survey research methodology in management information systems: an assessment. *Journal of management information systems*, 10(2), 75-105.
- Scott, W. R. (2001). *Institutions and Organizations Second Edition* Sage Publications. Inc. Thousand Oaks, Calif.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, 18(3), 357-375.
- Succar, B. (2010). Building information modelling maturity matrix. In *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies* (pp. 65-103). IGI Global.
- Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2012). Measuring BIM performance: Five metrics. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(2), 120-142.
- Succar, B., & Kassem, M. (2015). Macro-BIM adoption: Conceptual structures. *Automation in construction*, 57, 64-79.
- Succar, B., & Kassem, M. (2016). *Building Information Modelling: Point of Adoption*. CIB World Congress. Tampere Finland, May 30 – June 3, 2016.
- Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81, 286-299.
- Wong, K. K. K. (2013). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) techniques using SmartPLS. *Marketing Bulletin*, 24(1), 1-32.
- Xu, T., Tiong, R. L., Chew, D. A., & Smith, N. J. (2005). Development model for competitive construction industry in the People's Republic of China. *Journal of construction engineering and management*, 131(7), 844-853.