



# Análisis de Capacidad y Madurez respecto del grado de confiabilidad de simulaciones energéticas de edificios.

## Wladimir Bugueño Callejas

Filiación: Académico de jornada Universidad Mayor  
Dirección: Av. Alemania 0281, CP 4801043. Temuco. Chile.  
Correo: Wladimir.bugueno@umayor.cl

## Danny Lobos Calquin

Filiación: Ph.D. Assoc. Prof., Universidad Tecnológica Metropolitana, Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial  
Dirección: Calle Dieciocho 390, CP 8330526.Santiago, Chile  
Correo: danny.lobosc@utem.cl

### Manuscript Code

### Date of Acceptance/Reception

#### Resumen

El nivel de madurez y capacidad BIM de una empresa son parámetros que se asocian directamente a su calidad y experiencia, y que, en la especialidad de simulación de desempeño energético, pueden determinar el nivel de confiabilidad de los resultados. En la realidad chilena, en ausencia de códigos, estándares o normativas de simulación energética, es de vital importancia contar con una estrategia que pueda ser precisa en sus predicciones respecto del desempeño energético. Este estudio se centra en determinar dicho nivel de incertidumbre por medio del análisis de diferentes empresas especializadas en este ámbito, revisando su nivel de experiencia y sus capacidades internas.

Los resultados muestran que el nivel de confiabilidad aumenta conforme aumenta la madurez de la empresa, al mismo tiempo que se asegura un buen nivel de desempeño cuando existen procedimientos objetivos que fundamenten las capacidades internas, de modo que los máximos niveles de predictibilidad se alcanzan cuando se trabaja en un entorno integrado complementado con un sistema de aseguramiento de calidad, o bien, con un entorno gestionado incorporando protocolos de Certificación sustentable a nivel nacional.

Se espera que esta herramienta pueda prestar una referencia a los mandantes de edificios en la etapa de anteproyecto, de modo que se pueda conocer los resultados de una simulación en función de la calidad y experiencia del especialista.

**Palabras claves:** Madurez, Capacidad, Simulación energética de edificios, desempeño energético.

## Introducción

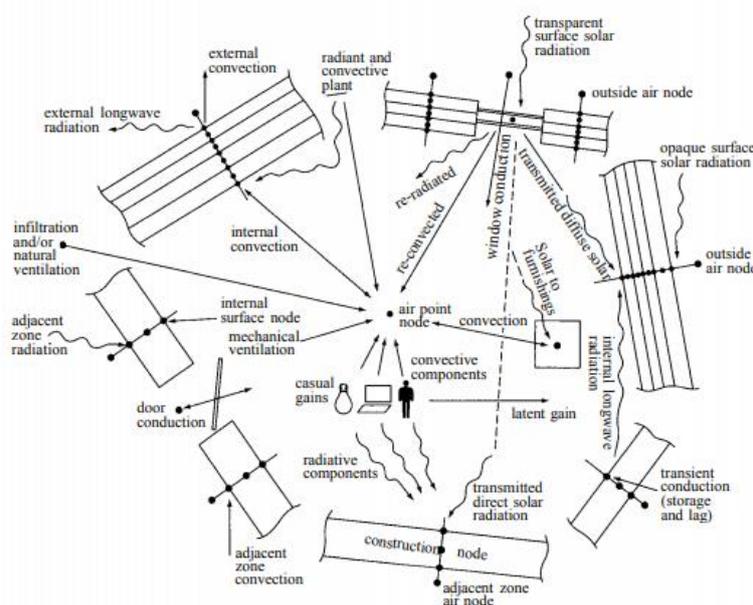
El nivel de madurez y capacidad BIM de una empresa son parámetros que se asocian directamente a su calidad y experiencia. En lo que respecta una especialidad como la simulación de desempeño energético, estos parámetros pueden determinar el nivel de confiabilidad con el que se obtienen resultados en proyectos determinados. En la realidad chilena, en ausencia de códigos, estándares o normativas de simulación energética, que introduzcan límites referenciales y supuestos homologables entre los diferentes softwares, especialistas, tipos de edificios, entre otros, es de vital importancia contar con una estrategia que pueda ser precisa en sus predicciones respecto del desempeño energético obtenido a través de un análisis mediante modelaciones y simulaciones con herramientas especializadas.

Para el caso del entorno BIM, en donde es posible contar con un núcleo centralizado de información, en el cual se puede alojar toda la información necesaria para realizar este tipo de análisis, podría ser posible determinar el alcance definitivo de una simulación energética en función de la calidad y experiencia de la empresa, es decir, en función de su capacidad y madurez, pudiendo comprometer, o incluso garantizar resultados reales de desempeño energético tomando como punto de partida el estado de la empresa en una matriz de madurez. Este mismo análisis puede llevar, asimismo, a la determinación de un grado óptimo de madurez y capacidad BIM para la especialidad de diseño bioclimático o eficiencia energética de un edificio, identificando, el que no necesariamente se alcanza en los grados más elevados de la matriz de Madurez BIM propuesta por Succar (2011), que considera un grado de madurez "Optimizado" junto a un nivel de capacidad de "Integración basada en un trabajo en Red" como máximo nivel posible.

Por medio de este estudio, se busca establecer cuál es la dependencia de los resultados finales de la simulación energética de un proyecto, en relación a su desempeño real, tomando como base de análisis los niveles de capacidad y madurez del especialista que realiza el estudio o consultoría.

Los sistemas de simulación energética de edificios permiten analizar la calidad y demanda ambiental de las construcciones, pero deben contar con procedimientos fiables y pertinentes (García-Alvarado, González, Bustamante, Bobadilla, & Muñoz, 2014). En su calidad de estudios teóricos, tienen la facultad de presentar una aproximación a al desempeño real que tendrá el edificio en uso. Dentro de las diversas variables que pueden generar incertidumbre en los resultados podemos mencionar (Coakley, Raftery, & Keane, 2014): Especificación de materialidades o condiciones internas, errores de modelación, errores numéricos y errores en los escenarios supuestos. En cada caso es posible encontrar diversas fuentes de variabilidad para los resultados finales, los más importantes demanda y consumo energético, junto con las condiciones de confort para los usuarios. En términos generales, un proceso de simulación energética busca evaluar el desempeño teórico de un edificio analizando un año completo de funcionamiento, incorporando variables como antecedentes climáticos (temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento), condiciones de uso (horarios, número de habitantes, tipo de usuarios), características constructivas (Trebilcock, Burdiles, & Fissore, 2001), entre otros, dando cuenta de un entorno complejo bajo el cual se parametriza la información geométrica y constructiva, agregando además un sinfín de supuestos que permitan alcanzar una estimación del comportamiento final del edificio en términos energéticos.

Figura 1. Flujos de la energía en edificios. Fuente: (Energy Simulation in Building Design, 2001).



La especialidad de eficiencia energética o análisis bioclimático carece en el país de una normativa que establezca procedimientos para ser ejecutada, en una industria donde existen más de mil especialistas (considerando empresas y consultores independientes) esto no hace más que mermar la universalidad y estandarización de los resultados obtenidos por cada especialista para cada estudio. Si se considera además que, a diferencia de otras especialidades predictivas, como la mecánica de suelos, o los análisis estructurales, donde junto con la ingeniería (regulada normativamente) existe una serie de requerimientos legales (ensayos de terreno) a ser cumplidos exhaustivamente por el ejecutor del proyecto, y que por lo tanto complementan y justifican dichos estudios, en la especialidad de eficiencia energética no se cuenta con una segunda instancia que obligue al constructor (quien ejecuta la obra) a corroborar algún parámetro que haya sido simulado o supuesto en la etapa de ingeniería, y por tanto, la confiabilidad de los resultados de esta última resulta improbable a nivel de requerimientos normativos.

**Tabla 1: Presencia de las áreas BIM/BPS/BEAM en Chile. Fuente: (Lobos, 2014)**

Rubro	Ejemplos
<b>BIM</b> Proyectos privados de Arquitectura, Construcción e Ingeniería que has usado BIM	
Edificios Públicos (MOP) que han pedido BIM y TDR-BIM MOP 2013	
<b>BPS</b> Ejemplos de edificios que han sido calculados con diversos software BPS en Chile	<p>Design Builder IES_VE      Design Builder      Design Builder</p>
<b>BEAM</b> LEED Ejemplos de edificios que cuentan con certificación LEED en Chile	
CES Ejemplos de edificios que cuentan con certificación CES en Chile	

Por su parte, como ha ocurrido en la industria desde el año 2000 aproximadamente, existen diversas metodologías que permiten a las empresas de ingeniería asegurar calidad en su trabajo, como lo son los Sistemas de Aseguramiento de Calidad (2008), donde se menciona el más conocido asociado a las normas ISO9001, pero también existen otros Sistemas de Certificación que permiten asegurar la calidad del trabajo junto con una validación técnica externa para especialidades específicas, en este caso los Sistemas de Certificación de Edificios (Building Environmental Assessment Method), donde se puede mencionar en el ámbito internacional a los Sistemas LEED o PassiveHouse, y en el nacional, al Sistema de Certificación de Edificio Sustentable, o al futuro Sistema de Certificación de Vivienda Sustentable. Todos estos voluntarios, y por tanto, dependen de un esfuerzo realizado por cada compañía para destacar su marca y otorgar a su servicio un factor de diferenciación en el mercado de la construcción. Algunos ejemplos de estas iniciativas pueden encontrarse en la Tabla 1.

## Metodología

### Madurez y Capacidad BIM

Es posible determinar el desempeño de una compañía tomando como punto de partida sus capacidades BIM, es decir, el enfoque y nivel de integración en el uso de esta plataforma a partir de la cual es realizado el trabajo en la cadena de especialidades, asociando luego esta partida a la madurez de la empresa, asociada a la gestión de sus procesos y al nivel

de desarrollo de su trabajo interno (Succar, Williams , & Sher, 2012). A partir de esta tesis, Succar desarrolla un Índice de Madurez BIM (Succar B. , 2013). Este enfoque es utilizado en el estudio para determinar la confiabilidad de los resultados obtenibles por diferentes empresas de consultoría o consultores independientes que realizan servicios de la especialidad de Eficiencia Energética. Así, surge la propuesta que derivar la Matriz BIM de Succar en una Matriz subsecuente que permita determinar el grado de confianza o certidumbre que puede alcanzar una consultoría basándose en sus capacidades y procedimientos internos.

Tabla 2. Extracto de Matriz de Capacidad y Madurez BIM. Fuente: Succar 2012.

Áreas de Madurez a Granularidad nivel 1	a INICIAL (o puntos)	b DEFINIDO (max 10 puntos)	c GESTIONADO (max 20 puntos)	d INTEGRADO (max 30 puntos)	e OPTIMIZADO (max 40 puntos)
<b>ETAPA 1</b> Modelado basado en objetos uso en una sola disciplina en una fase del ciclo de vida	Implementación de una herramienta basada en objetos. No se identifican cambios de proceso o en las políticas para acompañar esta implementación.	Se han acabado los proyectos piloto. Se identifican los requisitos del proceso y de la política BIM. Se prepara la estrategia de implementación y los planes de detalle.	Se instigan, estandarizan y controlan los procesos y la política BIM.	Las tecnologías, procesos y política BIM están integradas en las estrategias de organización y alineadas con los objetivos de negocio.	Las tecnologías, procesos y política BIM se revisan continuamente para beneficiarse de la innovación y alcanzar los objetivos de desempeño más altos.
<b>ETAPA 2</b> Colaboración basada en el Modelo multi-disciplinar, intercambio por la vía rápida de modelos	Colaboración Ad-hoc BIM, las capacidades internas de colaboración son incompatibles con los socios del proyecto. Puede faltar confianza y respeto entre los participantes en el proyecto.	Colaboración BIM uno a uno, bien definida todavía reactiva. Hay señales identificables de la confianza mutua y el respeto entre los participantes del proyecto.	Colaboración proactiva entre las múltiples partes, los protocolos están bien documentados y gestionados. Existe confianza mutua, respeto y riesgos y beneficios compartidos entre los participantes del proyecto.	Colaboración entre las múltiples partes que incluye a los actores aguas abajo. Se caracteriza por la participación de los actores clave durante las fases iniciales del ciclo de vida del proyecto.	Equipo integrado por múltiples partes que incluye a todos los actores clave en un entorno caracterizado por la buena voluntad, la confianza y el respeto.
<b>ETAPA 3</b> Integración basada en la red intercambio concurrente interdisciplinario de modelos de nD a lo largo de las Fases del Ciclo de Vida del Proyecto	Los modelos integrados son generados por una serie limitada de participantes en el proyecto - posiblemente bajo barreras corporativas. La integración se produce con guías de procesos, normas o protocolos de intercambio poco o no pre-definidas. No hay una propuesta formal de las funciones y responsabilidades de los participantes.	Los modelos integrados son generados por un gran subconjunto de los participantes en el proyecto. La integración sigue guías de proceso, normas y protocolos de intercambio pre-definidas. Se distribuyen las responsabilidades y los riesgos se mitigan a través de medios contractuales.	Los modelos integrados (o partes de) son generados y gestionados por la mayoría de los participantes en el proyecto. Las responsabilidades dentro de alianzas temporales de proyecto o asociaciones a más largo plazo son claras. Los riesgos y beneficios se gestionan y distribuyen de forma activa.	Los modelos integrados son generados y gestionados por todos los participantes clave del proyecto. La integración basada en la red es la norma y el foco no está en la forma de integrar modelos / flujos de trabajo, sino en la detección y resolución proactiva de los desajustes de tecnología, procesos y políticas.	Se revisa y optimiza continuamente la integración de modelos y flujos de trabajo. Un equipo de proyecto interdisciplinar, estrechamente unido, persigue de forma activa nuevas eficiencias, entregables y alineaciones. Los modelos integrados son resultado de la aportación de muchos participantes en la cadena de suministro de la construcción.

### Matriz de madurez y capacidad para BIM-BPS

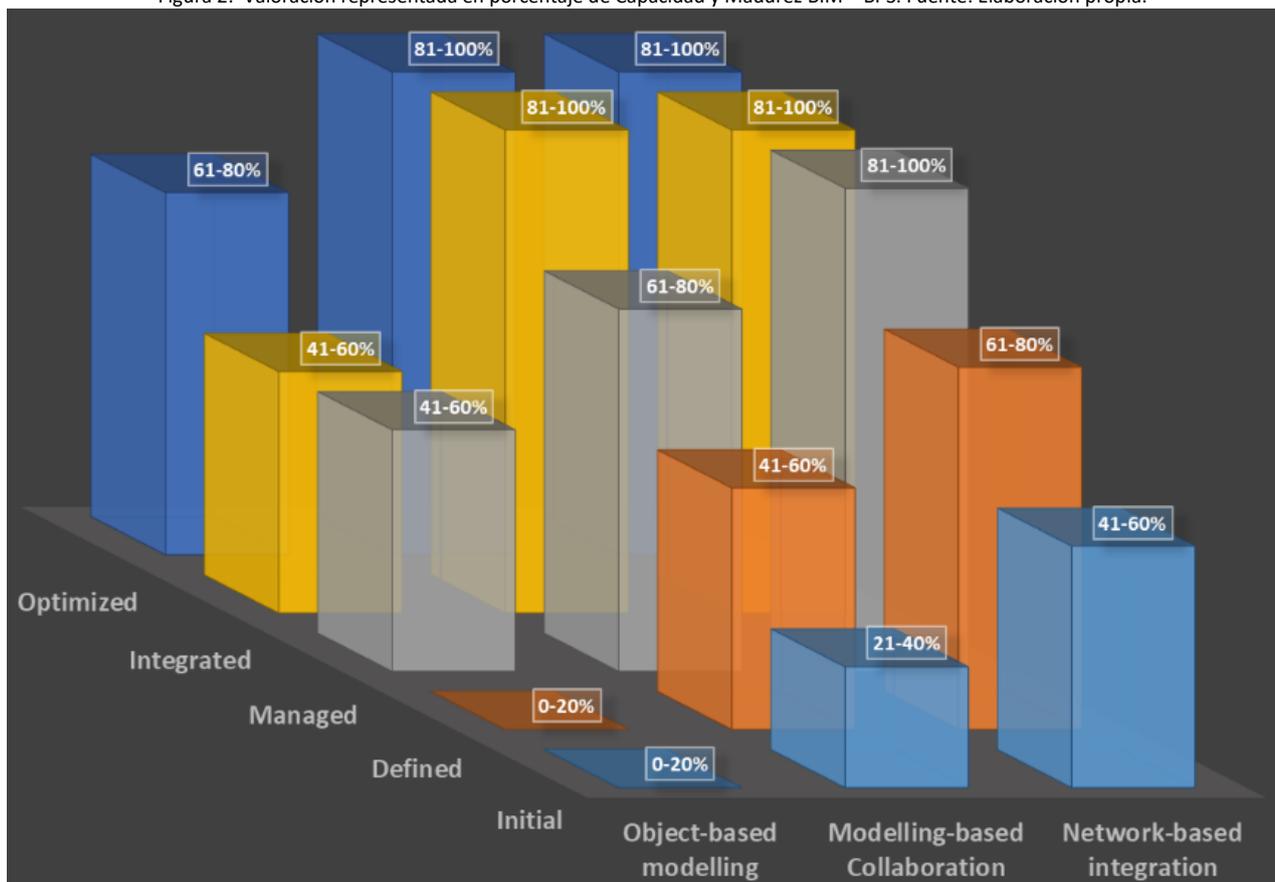
Se utiliza como referencia el Índice de Madurez desarrollado por Succar para determinar el estado de madurez y capacidad BIM que presenta una empresa, y que permite comprar los rendimientos, calidad y experiencia de diferentes compañías que realizan un mismo servicio. Para esto se propone identificar como capacidades propias de cada compañía en función del tipo de información que es modelada en cada caso. Para el entorno BIM, se presentan en la tabla 3 las 3 opciones identificadas por Succar, y se asigna, según el grado de Madurez de la empresa, un puntaje en una escala del 1 al 5 (Bugueño, 2017).

Tabla 3. Matriz de madurez y capacidad para BIM-BPS. Fuente: Elaboración propia.

Capacidad	Índice de Madurez				
	Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Modelación basada en el objeto	1	2	3	3	4
Colaboración basada en el modelo	2	3	4	5	5
Integración basada en la red	3	4	5	5	5

De los puntajes asignados, se propone una escala de valoración representada en porcentaje, lo que indica el nivel de certidumbre o confiabilidad de los resultados del trabajo en cada caso, como se ve en la siguiente figura:

Figura 2: Valoración representada en porcentaje de Capacidad y Madurez BIM – BPS. Fuente: Elaboración propia.



Por su parte, debido al problema planteado en este estudio, respecto a la inexistencia de normativa asociada a esta especialidad, se toma como puntos de partida objetivos, y de posterior comparación, cinco elementos de Capacidad, extendiendo este último término de su definición inicial propuesta, y derivándolo directamente hacia las capacidades internas de una empresa que inciden (de manera teórica) en el nivel de incertidumbre de los resultados de análisis de simulaciones energéticas, estos cinco niveles son:

- Ningún Sistema: Se refiere a la inexistencia de procedimientos o protocolos para llevar a cabo una simulación energética, atendiendo a los requerimientos de cada cliente de manera personalizada y sin una directriz que permita obtener resultados comparables entre diferentes consultorías.
- Declaración de adhesión a normativa extranjera: Entendido como un esfuerzo de la compañía por obtener resultados comparables y validados técnicamente. Se pueden mencionar en estos puntos protocolos de trabajo como los definidos en ASHRAE<sup>1</sup>. Estos protocolos se detallan explícitamente para el desarrollo de la especialidad de simulación energética, y buscan ser una guía para el especialista que lleva a cabo la consultoría. Sin embargo, el trabajo realizado bajo este tipo de normativas no está creditado por una entidad nacional.
- Sistema de aseguramiento de calidad: Procedimientos de trabajo genéricos que pueden ser aplicados a cualquier compañía y que no tienen que ver directamente con la especialidad de eficiencia energética o simulación. Los más conocidos corresponden a las normativas ISO<sup>2</sup>. El nivel de incidencia que tiene esta certificación en los procedimientos internos obliga al especialista a llevar una serie de actividades que aseguren la calidad final del trabajo. Como punto diferenciador, para acreditarse para esta norma, es necesario realizar auditorías de trabajo por una entidad externa autorizada por el Instituto Nacional de Normalización.
- Sistema de Certificación Internacional: Comúnmente conodicos por representar un factor de diferenciación para grandes proyectos de consutrcción en el ámbito de la eficiencia energética o consutrcción sostenible.

<sup>1</sup> Ashrae 209-2018, 'Diseño asistido por simulación energética para edificios excepto edificios residenciales de baja altura'.

<sup>2</sup> ISO 9001.2015. Requisitos para un Sistema de Gestión de Calidad.

Dentro de los más utilizados a nivel mundial podemos encontrar a PassiveHause<sup>3</sup> o LEED<sup>4</sup>. Este ultimo utiliza dentro de sus requerimientos para simulaciones energéticas contempla el uso de requerimientos como ASHRAE, y el trabajo es validado y acreditado por una entidad internacional (Green Building Council).

- Sistema de Certificación Nacional: Como estructura de Sistema de Certificación tienden a ser muy similares a los sistemas extranjeros, sin embargo, tienen la ventaja de que incorporan parámetros y variables solo aplicables al plano nacional, por lo que el grado de confiabilidad de los resultados aumenta, debido a los requerimientos específicos y condiciones territoriales particulares con las que se debe cumplir. En este caso existen en Chile dos Sistemas, la Certificación de Edificio Sustentable<sup>5</sup> y la Calificación Energética de Vivienda<sup>6</sup>.

En este estudio se utilizan estos cinco niveles de capacidad para homologar los desarrollado por Succar, definiendo en cada nivel, en función del grado de madurez de la compañía, una asignación de puntaje en una escala valorada del 1 al 7.

## Resultados

En la definición de cada grado de cumplimiento se asocia el nivel de certidumbre que las diferentes capacidades constituyen para un estudio de simulación energética, tomando como base la información declarada por cada compañía, y la característica propia de los Sistemas de trabajo asociadas a dichas capacidades, obteniendo lo siguiente:

Tabla 4: Indicador de Certidumbre asociado a las capacidades en el ámbito de la especialidad de simulación energética. Fuente: Elaboración propia.

	Nivel de Certidumbre				
	Initial	Defined	Managed	Integrated	Optimized
Ningún sistema	15%	30%	45%	60%	75%
Declaración de adhesión a normativa extranjera	30%	45%	60%	75%	90%
Sistema de aseguramiento de calidad	45%	60%	90%	100%	100%
Sistema de Certificación Internacional	60%	60%	90%	100%	100%
Sistema de Certificación nacional	60%	75%	100%	100%	100%

De esta manera, se determina el nivel óptimo que permite asegurar un grado de confiabilidad en el tramo más alto de la escala de valores (91-100%), el que puede ser obtenido en 7 escenarios distintos, ver figura 3.

Esto determina que las capacidades mínimas de una empresa para ser considerada dentro del tramo más alto de confiabilidad, cuyo estado de madurez es Gestionado (Managed), deben incorporar la acreditación de sus procedimientos a un Sistema de Certificación Sustentable a nivel nacional. O bien, si la empresa se encuentra en el nivel Integrado (Integrated), es suficiente con incorporar a sus procedimientos internos de trabajo un Sistema de Aseguramiento de la Calidad, cuyos requerimientos deben ser acreditados por una entidad externa que permita validar las actividades y procesos de la compañía.

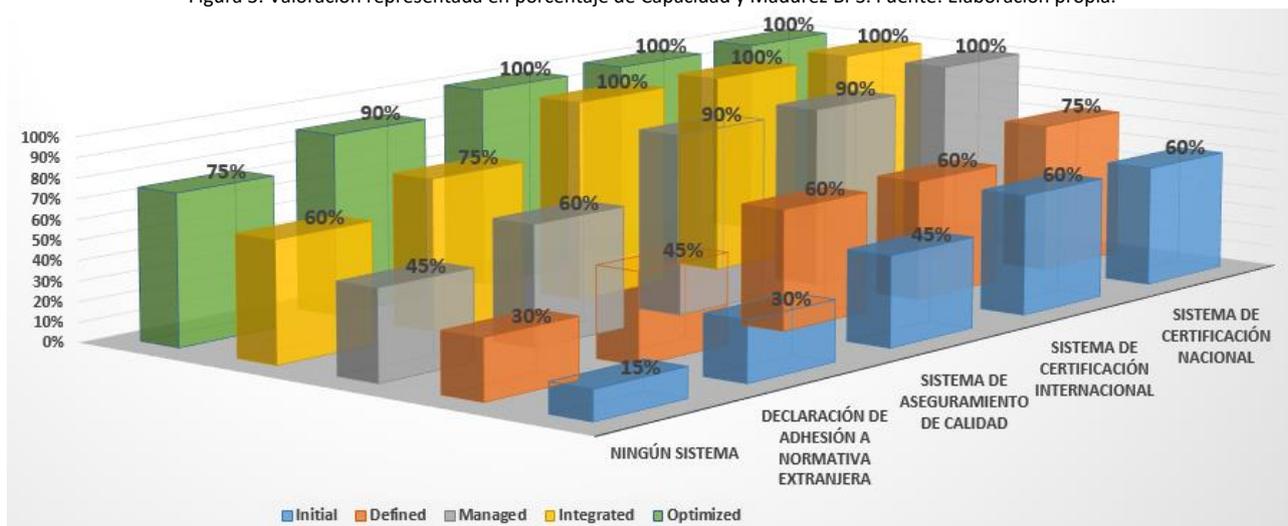
<sup>3</sup> Passivehouse: Estándar de origen alemán para la construcción y certificación de viviendas que cuenten con un clima interior confortable. <http://passivhaus-chile.cl/>

<sup>4</sup> LEED: Leadership in Energy & Environmental Design, es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el US Green Building Council. <http://www.chilegbc.cl>

<sup>5</sup> CES: La Certificación Edificio Sustentable es un sistema nacional que permite evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile. <http://www.certificacionsustentable.cl/>

<sup>6</sup> CEV: La Calificación Energética de Viviendas en Chile es un instrumento diseñado el año 2012 que busca mejorar la calidad de vida de las familias, a través de la entrega de información objetiva y estandarizada. <http://www.calificacionenergetica.cl/>

Figura 3. Valoración representada en porcentaje de Capacidad y Madurez BPS. Fuente: Elaboración propia.



## Discusión y Conclusiones

Los resultados muestran que el nivel de confiabilidad aumenta conforme aumenta la madurez de la empresa, al mismo tiempo que se asegura un buen nivel de desempeño cuando existen procedimientos objetivos que fundamenten las capacidades internas, de modo que los máximos niveles de predictibilidad se alcanzan cuando se trabaja en un entorno integrado complementado con un sistema de aseguramiento de calidad, o bien, con un entorno gestionado incorporando protocolos de Certificación Sustentable en el ámbito nacional.

Se espera que esta herramienta pueda prestar una referencia a los mandantes de edificios en la etapa de anteproyecto, de modo que se pueda conocer los resultados de una simulación en función de la calidad y experiencia del especialista. Por su parte se propone una temática de investigación que surge de este estudio y aborda la contrastación entre el nivel de confiabilidad de las simulaciones energéticas respecto de los consumos energéticos reales que presenta cada edificio.

## Agradecimientos

Programa: FONDECYT: Vinculación de modelos BIM (Building Information Modeling) y software BPS (Building Performance Simulation) a métodos de evaluación ambiental de edificios mediante innovación en la plataforma BIM.

## Referencias

- Bugueño, W. (2017). *Tesis para optar al grado de Magíster. Matriz de Madurez BIM aplicada a un proyecto hospitalario de Alta Complejidad*. Santiago, Chile.
- Clarke, J. A. (2001). *Energy Simulation in Building Design*. New York, USA: Routledge.
- Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37(123–141).
- García-Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., & Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de la Construcción*, 66(533).
- Lobos, D. (2014). Interoperability Map between BIM and BPS Software. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, (págs. 601-608).
- MINVU. (s.f.). *Calificación Energética de Viviendas*. Obtenido de <http://www.calificacionenergetica.cl>
- Succar, B. (2013). Building Information Modelling Maturity Matrix. En G. a. Issa, *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies* (págs. 38-56).
- Succar, B., Williams, A., & Sher, W. (2012). Measuring BIM Performance: Five Metrics. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(120-142).
- Trebilcock, M., Burdiles, R., & Fissore, A. (2001). La modelación y simulación energético-ambiental como herramienta de rediseño arquitectónico. *Congreso Sigradi*, (págs. 83-86). Concepción.