

Orihuela, P., Diaz, H., Garcia, S., Davis, M. (2024). La sexta dimensión del BIM y su contribución a la sustentabilidad empresarial. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

LA SEXTA DIMENSIÓN DEL BIM Y SU CONTRIBUCIÓN A LA SUSTENTABILIDAD EMPRESARIAL

Pablo Orihuela ¹ – porihuela@motiva.com.pe

Héctor E. Díaz ² – hectordiaz@tec.mx

Salvador García ³ – sgr@tec.mx

Miguel Davis ⁴ – migueldavis@tec.mx

¹ Gerente General Motiva S.A., Consejero Internacional del TEC de Monterrey, Perú.

² Profesor del Departamento de Tecnologías Sostenibles y Civil, TEC de Monterrey, México.

³ Director del Departamento de Tecnologías Sostenibles y Civil, TEC de Monterrey, México.

⁴ Director del Programa de Ingeniería Civil, Tecnológico de Monterrey, México.

RESUMEN

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas adoptó la denominada Agenda 2030, que insta a contribuir al cumplimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Las empresas del sector de la construcción no pueden ignorar este llamado, ya que tienen una enorme responsabilidad en este desafío global. A nivel mundial, las emisiones de CO₂ derivadas de este sector representan alrededor de la tercera parte de las emisiones globales de CO₂ y de todos los desechos y residuos sólidos generados. Este artículo revisa diversas investigaciones que estudian las contribuciones que la industria de la construcción puede hacer para mitigar estos efectos, y tiene como objetivo fundamentar cómo el Building Information Modeling (BIM), a través de su sexta dimensión (BIM-6D), puede contribuir al cumplimiento de los ODS 6: Agua y Saneamiento, ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante, ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, ODS 12: Producción y Consumo Responsables, y ODS 13: Acción por el Clima. Se espera que este artículo concientice a las empresas del sector de la construcción sobre el potencial que ofrece la tecnología del BIM-6D para impulsar la sustentabilidad empresarial mediante su contribución a estos cinco ODS de la Agenda 2030.

PALABRAS CLAVE

Sustentabilidad; Sustentabilidad Empresarial; Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); BIM; BIM-6D; Industria de la Construcción.

INTRODUCCIÓN

La Sustentabilidad se define comúnmente como un desarrollo que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). Siguiendo esta lógica, la sostenibilidad empresarial puede definirse como la capacidad de las empresas para responder a sus necesidades financieras a corto plazo sin comprometer su capacidad (o la de otros) para satisfacer sus necesidades futuras (Bansal & DesJardine, 2014).

En otras palabras, la Sustentabilidad Empresarial se refiere a la capacidad de una empresa para desarrollar sus proyectos de construcción, garantizando su viabilidad económica, minimizando su impacto al medio ambiente y contribuyendo positivamente a la sociedad. Estos son los tres pilares fundamentales que se conocen como la “Triple Cuenta de Resultados”, término acuñado por John Elkington en 1997.

Para cumplir con la Sustentabilidad Empresarial, el 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) firmó el Pacto Mundial de las Naciones Unidas, haciendo un llamamiento a las empresas y gobiernos para que incorporen los principios universales relacionados con: 1) Los Derechos Humanos, 2) Las Normas Laborales, 3) El Medio Ambiente, y 4) La Lucha contra la Corrupción. Para el cumplimiento de estos 4 principios, se declararon 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que aportan una hoja de ruta y un mandato claro a las empresas para ampliar sus esfuerzos en lograr reducciones significativas de las emisiones de carbono para el 2030, como un paso intermedio para la neutralidad del carbono para el 2050 (Kingo, 2024).

Este llamamiento a cumplir con la Sustentabilidad Empresarial, es muy relevante para las empresas de la industria de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones (AECO), debido al significativo impacto que los proyectos de construcción generan en el medio ambiente, la sociedad y la economía de los países. El informe sobre el estado global de construcción de edificaciones (United Nations Environment Programme, 2022), precisa que la construcción consume aproximadamente el 30% de la energía mundial, empleada en calefacción, refrigeración, cocina, iluminación y equipos. También es responsable de alrededor del 27% de las emisiones globales de Dióxido de Carbono (CO₂) relacionadas con las operaciones. La producción de concreto, acero y aluminio añade otro 4% al uso mundial de energía y un 6% a las emisiones globales en el 2021. Así mismo, la producción de vidrio y ladrillos podría representar entre un 2% y un 4% adicional a dichas emisiones globales. En conjunto, se estima que las emisiones de CO₂ procedentes de las operaciones de los edificios y de los materiales utilizados en la construcción representan alrededor del 37% de las emisiones globales relacionadas con la energía y los procesos. Por otro lado, según el informe Global Waste Management Outlook (United Nations Environment Programme, 2015), los residuos de construcción y demolición pueden representar entre el 30% y el 40% del total de residuos sólidos generados en todo el mundo. La Tabla 1 resume estas cifras.

Tabla 1. Impacto mundial de la construcción de edificaciones en el medio ambiente (United Nations Environment Programme, 2015 y 2022)

Impacto	Descripción	Estimación mundial	
Consumo de energía	Producción	Concreto, acero y aluminio	4%
	Operación	Calefacción, refrigeración, cocina, iluminación y artefactos	30%
Emisiones de CO ₂	Producción	Concreto, acero y aluminio	6%
	Producción	Vidrio y ladrillos	2% al 4%
	Operación	Calefacción, refrigeración, cocina, iluminación y artefactos	27%
Generación de Residuos Sólidos	Producción	Residuos de construcción y demolición	30% al 40%

Ante este panorama, surge la pregunta: ¿Qué medidas pueden implementar las empresas del sector AECO para cumplir con estos Objetivos de Desarrollo Sostenible? En una revisión de la literatura existente, se encontraron correlaciones generales del sector de la construcción, como las investigaciones de Alridha et al. (2023) y Fei et al. (2021), que muestran contribuciones que la industria de la construcción puede hacer para el logro de determinados ODS. También se encontraron correlaciones más específicas, como la de Dantas et al. (2021), que investigan respecto a repercusión tanto de la economía circular como del uso de las tecnologías de la Industria 4.0 en los ODS. Así mismo, se encontró la investigación de Wen et al, (2020), que correlacionan el uso de las herramientas de calificación de los edificios verdes con su contribución a los ODS. De manera similar, el trabajo de Alawneh et al. (2019) muestra la contribución que las certificaciones medioambientales hacen al cumplimiento de los ODS. Finalmente, la investigación de Goubran y Cucuzzella (2019) propone que los equipos de diseño contribuyan al cumplimiento de algunos ODS, usando la Entrega de Proyectos Integrados (IPD).

Dado que en estas búsquedas no se encontró ninguna propuesta que correlacione las contribuciones del BIM-6D a los ODS, este artículo detalla cómo operan las herramientas tecnológicas del BIM-6D, para la realizar simulaciones energéticas, simulaciones de eficiencia hídrica y evaluaciones de la huella ambiental embebida en los materiales de construcción, explicando su gran contribución para cumplir con la Sustentabilidad Empresarial a través de su aporte a 5 de los 17 ODS definidos en la Agenda 2030.

METODOLOGÍA

Para preparar este artículo, se realizó una Revisión de Literatura acerca de los conceptos sobre Sostenibilidad Empresarial y los ODS, encontrándose diversas publicaciones que tratan sobre los principios del desarrollo sostenible, la mayoría de las cuales hacen referencia a los acuerdos de la Organización de las Naciones Unidas. Por este motivo, se profundizó la búsqueda en la gran cantidad de reportes técnicos que publica dicha entidad en todos los idiomas, esta búsqueda se realizó a partir del año 2015, cuando se firmó la Agenda 2030.

Por otro lado, se hizo una búsqueda focalizada de artículos que trataran específicamente sobre el BIM-6D. Además, se consultaron directamente las guías de usuarios de softwares BIM, así como otros softwares aplicativos de extensión. En esta búsqueda se encontraron un total de nueve softwares conocidos que, conjuntamente con un modelo de información, realizan simulaciones de eficiencia energética; tres softwares que realizan simulaciones de eficiencia hídrica con fines de ahorro de agua; tres softwares que evalúan la huella de carbono embebida en los materiales de construcción, y cuatro bases de datos con información sobre los materiales sostenibles más usados en obras de construcción.

Finalmente, con la información de ambos lados, se estableció una correlación entre las tecnologías BIM y los ODS, describiendo cómo cada una de estas tres herramientas tecnológicas contribuye al logro de los objetivos y las metas de cada uno de los ODS seleccionados.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra una línea de tiempo de los principales hitos que han sido fundamentales para avanzar en la agenda global de sustentabilidad y para coordinar esfuerzos internacionales en la lucha contra el cambio climático y la protección del medio ambiente.

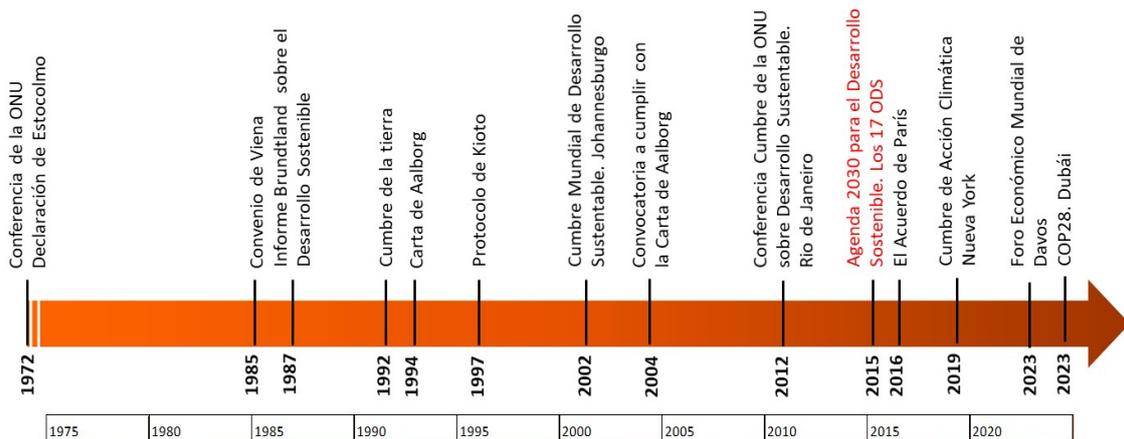


Figura 1. Principales reuniones sobre Sustentabilidad y Medio Ambiente

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas adoptó la denominada Agenda 2030, la cual identificó 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que contienen 169 metas y 231 indicadores. Estos ODS proporcionan a las empresas de todos los sectores industriales una oportunidad y una nueva perspectiva en sus estrategias y soluciones empresariales.

LOS ODS Y EL SECTOR CONSTRUCCIÓN

Fei et al. (2021) diseñaron y realizaron una encuesta a 105 especialistas, entre académicos y profesionales de la industria, todos ligados al tema de sustentabilidad y construcción. Estas encuestas fueron validadas posteriormente a través de entrevistas semiestructuradas con 16 expertos en construcción sostenible. Los hallazgos concluyen que la industria de la construcción tiene un rol fundamental en el logro de casi todos los 17 ODS; sin embargo, hay 10 de ellos que destacan, como se muestra en la Tabla 2. Entre estos, el

ODS 11 fue clasificado en primer lugar por los encuestados de este estudio, con una puntuación media de 4.67 en la escala de Likert y una desviación estándar de 0.583.

Tabla 2. Contribución de la industria de la construcción al logro de los ODS

Objetivo	Descripción	Alawneh et al. (2019)	Goubran y Cucuzzella. (2019)	Wen et al. (2020)	Dantas et al. (2021)	Fei et al. (2021)	Aldridha et al. (2023)
		Certif. ambientales	IPD -Fase de diseño	Edif. verdes	E.Circular + Ind. 4.0	AECO	AECO
ODS 1	Fin de la pobreza						
ODS2	Hambre Cero						
ODS 3	Salud y bienestar	✓		✓		✓	
ODS 4	Educación de calidad		✓				
ODS 5	Igualdad de género					✓	
ODS 6	Agua limpia y saneamiento	✓	✓			✓	
ODS 7	Energía asequible y no contaminante	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ODS 8	Trabajo decente y crec. económico	✓	✓		✓	✓	
ODS 9	Industria, innovación e infraestructura	✓	✓		✓	✓	✓
ODS 10	Reducción de las desigualdades				✓		
ODS 11	Ciudades y comunidades sostenibles	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ODS 12	Producción y consumo responsable	✓		✓	✓	✓	
ODS 13	Acción por el clima	✓				✓	✓
ODS 14	Vida submarina						
ODS 15	Vida de ecosistemas terrestres		✓			✓	✓
ODS 16	Paz, justicia e instituciones sólidas						
ODS 17	Alianzas para lograr los objetivos		✓				

Aldridha et al. (2023) concluyen que existen tres opiniones principales sobre la contribución de la industria de la construcción al logro de los ODS: a) La industria de la construcción puede impactar en todos los ODS. b) La construcción tiene un impacto solo en algunos ODS. c) La construcción tiene un impacto en casi todos los ODS; sin embargo, la prioridad y la importancia no es la misma para todos los objetivos.

Esta investigación coincide con la realizada por Fei et al. (2021) en que el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” es el primer objetivo más dependiente. Luego, en segundo lugar, se encuentran el ODS 7 y el ODS 9, y en tercer lugar, el ODS 13 y el ODS 15.

Alawneh et al. (2019) aplicaron la técnica Delphi con un sistema de evaluación ponderado para identificar las categorías de evaluación de los edificios verdes y sus contribuciones para alcanzar los ODS, encontrando que estos contribuyen significativamente a los ODS 3, 6, 7, 9, 11, 12, 13 y 15. De manera similar, Wen et al. (2020) concluyen que la contribución de los edificios ecológicos a los ODS se da entre las herramientas de calificación de estos edificios y los indicadores y metas de los ODS. Los hallazgos de este trabajo revelaron que esta contribución se da principalmente en los ODS 12, 7, 3 y 11, siendo el ODS 12 el principal beneficiario.

Dantas et al. (2021) investigaron acerca de la Industria 4.0, la transición a la Economía Circular y su relación con el logro de los objetivos establecidos en los ODS. Los resultados muestran que hay una contribución directa a las metas establecidas por los ODS 7, 8, 9, 11, 12 y 13, las cuales abordan las tres áreas principales manejadas por los ODS (biosfera, economía y sociedad).

Goubran y Cucuzzella (2019) proponen herramientas de mapeo analítico que pueden implementarse durante la fase de diseño, utilizando la Entrega de Proyectos Integrados (IPD). Estas herramientas permiten rastrear la integración de los 17 ODS en los proyectos de construcción y analizar los enfoques y estrategias de diseño de edificios. El análisis se centra en la integración de los ODS 4, 6, 7, 8, 9, 11, 15 y 17, para analizar las características específicas de los edificios y lograr esta integración con la visión del equipo de diseño.

Hasta donde se realizó la búsqueda, no se encontró ningún trabajo que investigue cómo la tecnología BIM contribuye a los ODS.

LA SEXTA DIMENSIÓN DEL BIM (BIM-6D)

El Building Information Modeling (BIM) es un proceso de gestión de la información llevado a cabo mediante trabajo colaborativo y tecnologías digitales (BSI, 2023). BIM emplea una representación digital compartida de un prototipo para facilitar los procesos de diseño, planificación, construcción y operación proporcionando una base confiable de información para la toma de decisiones (BSI, 2023).

Al igual que un edificio real tiene múltiples capas, componentes y dimensiones (como acero, concreto, albañilería, revestimiento, entre otros), un modelo BIM también tiene múltiples capas de información, que pueden definirse mediante diferentes dimensiones (Autodesk Construction Cloud, 2024). Estas dimensiones van desde la visualización en 3 dimensiones (BIM-3D), la incorporación del tiempo (BIM-4D), el cálculo del costo (BIM-5D), los aspectos de la sustentabilidad (BIM-6D), la operación y mantenimiento (BIM-7D), y otras dimensiones que consideran aspectos como la seguridad de obra, la salud ocupacional y el Lean Construction.

La Figura 2, muestra una línea de tiempo de los hitos principales en el desarrollo del BIM, destacando que el BIM-6D, que incorpora la dimensión de sostenibilidad y eficiencia energética, comenzó a desarrollarse a partir de la década del 2010.

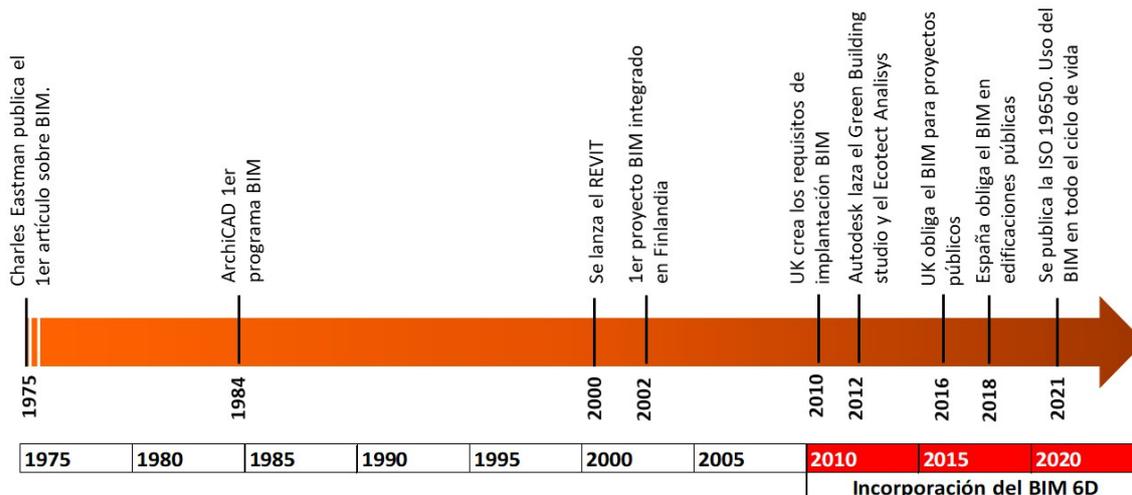


Figura 2. Incorporación del BIM-6D dentro de del desarrollo del BIM

SIMULACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BIM-6D

Según la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo, el rendimiento energético de un edificio se define como: "La cantidad de energía, calculada o medida, necesaria para satisfacer la demanda energética vinculada a un uso normal del edificio, que incluye, entre otros, la energía utilizada para la calefacción, la refrigeración, la ventilación, el agua caliente sanitaria y la iluminación".

El BIM-6D modela, evalúa y optimiza el uso energético de un proyecto de construcción (Ershadi et al., 2021). Sin embargo, el potencial del modelo, asociado a las herramientas, no solo abarca los aspectos medioambientales, sino que también alcanza una dimensión que incluye la sostenibilidad del proyecto en general (Sampaio, 2023).

Para realizar una simulación energética, el BIM-6D opera de la siguiente manera (Autodesk 2024, Guía del usuario Revit):

1. Incorporación de elementos: Todos los elementos relevantes como paredes, techos, ventanas, puertas, y sistemas mecánicos, se integran en el modelo con sus propiedades de materiales correctamente asignadas, como resistencia térmica, conductividad, densidad y capacidad calorífica.
2. Importación de datos climáticos: Se incorporan datos climáticos correspondientes a la ubicación del proyecto, tales como temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar y patrones climáticos estacionales.
3. Asignación de datos de uso y ocupación: Se incluyen datos como utilización de los diferentes espacios del edificio, incluyendo horarios de ocupación, actividades y cargas internas (artefactos eléctricos, iluminación, etc.).
4. Modelación de sistemas de HVAC: Se modelan los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), definiendo sus características, capacidades, y eficiencia.
5. Consideración de escenarios climáticos: Se configuran cómo el edificio responderá a diversas condiciones, como olas de calor, inviernos fríos, y fluctuaciones diurnas y nocturnas.

6. Evaluación de cargas térmicas: Con herramientas de simulación energética integradas o conectadas al software BIM, se evalúan las cargas térmicas del edificio, considerando la envolvente del edificio, la orientación, las sombras y las ganancias solares, para mantener condiciones confortables en los ambientes interiores.
7. Interpretación de resultados: Se revisan los resultados de la simulación, que generalmente incluyen el consumo energético anual, las cargas pico de calefacción y refrigeración, y las oportunidades de ahorro energético.
8. Identificación de mejoras: Se identifican las áreas donde se pueden implementar mejoras en eficiencia energética, que pueden incluir cambios en la selección de materiales, ajustes en los sistemas HVAC, o incluso cambios en el diseño.
9. Análisis de estrategias pasivas: Se analizan estrategias de diseño, como la orientación del edificio, el uso de ventilación natural, el aprovechamiento de las sombras y de la masa térmica, para optimizar el comportamiento climático sin recurrir a sistemas electro mecánicos.
10. Nuevas simulaciones: Se realizan nuevas simulaciones para evaluar el impacto de los cambios y optimizar el diseño para un rendimiento energético óptimo.

La Tabla 3 muestra diversas herramientas usadas para estas simulaciones energéticas.

Tabla 3. Herramientas de Simulación Energética

Software BIM 6D	Empresa / Institución	Comentarios
Green Building Studio (GBS)	Autodesk Revit	Se aloja en la nube, depende de modelos en Revit, su motor de cálculo DOE-2, trabaja con las emisiones de carbono, el consumo energético y suministro de agua.
Autodesk Insight	Autodesk Revit	Integrado en el software de modelado Revit, analiza energéticamente un edificio, desde las etapas iniciales de diseño hasta que está completamente ejecutado. Utiliza los motores de cálculo DOE 2.2. y EnergyPlus.
IES VE	Suite de Software	Funciona con Autodesk Revit, Trimble SketchUp, Vectorworks y cualquier software que exporte a gbXML, basada en el motor de simulación Apache.
Energy Plus	Dpto de Energia de EE.UU.	Calcula tanto el consumo de energía, como el uso de agua. Es un software gratuito, de código abierto y multiplataforma que emplea como motor de cálculo distintos programas como DesignBuilder.
DesignBuilder	DesignBuilder Software Ltd	Su motor de cálculo es EnergyPlus. Cuenta con 10 módulos: Modelación 3D, Visualización, Simulación, Optimización, Iluminación, Costos, CFD, HVAC, LEED y Scripting.
eQuest	IKDI	Simula y analiza el uso de la energía en los edificios, evalúa la eficiencia de sistemas HVAC. Tiene dos motores principales, uno se enfoca en el diseño del inmueble (DOE-2) y el otro realiza la medición de su eficiencia energética (EEM).

Sefaira	Trimble	La aplicación web de Sefaira, se aloja en la nube y utiliza el motor de simulación EnergyPlus para procesar y analizar modelos.
OpenStudio	Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE.UU	Es un software de código abierto que proporciona una interfaz visual y fácil de usar con el motor de análisis EnergyPlus.
TRNSYS	Universidad de Wisconsin	Simula energías renovables y en múltiples sistemas solares, térmicos y fotovoltaicos. Se conforma por dos partes: un motor que lee y procesa el archivo de entrada y una extensa biblioteca de componentes de los sistemas de energía térmica y eléctrica.

Según Bellido et al. (2019), una de las herramientas informáticas más utilizadas para la evaluación de la sustentabilidad en los concursos anuales del BIMTecnía, organizados por el Cluster de Habitat Eficiente (AEICE), ha sido el Desing Builder.

De esta forma, el BIM-6D permite identificar e implementar medidas que mejoren la eficiencia energética del edificio, reduciendo el consumo y los costos operativos, y asegurando que el edificio mantenga condiciones de confort térmico adecuadas para los ocupantes en diversas condiciones climáticas. Además, contribuye a la reducción de la huella de carbono y al desarrollo de edificaciones más sostenibles desde las primeras fases del proyecto. La Figura 3 muestra conceptualmente cómo sucede esta simulación energética.

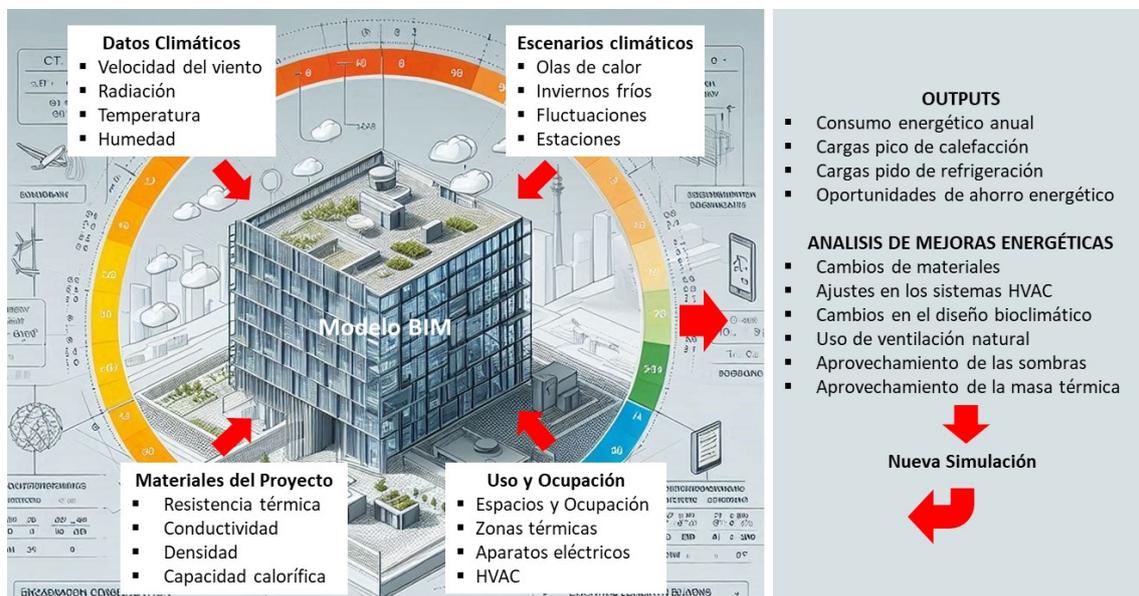


Figura 3. Esquema conceptual de la Simulación Energética con BIM-6D

SIMULACIÓN PARA EL AHORRO DEL CONSUMO DE AGUA DEL BIM-6D

El ahorro hídrico se refiere a la reducción del consumo de agua mediante la implementación de tecnologías, prácticas y comportamientos que promuevan el uso eficiente del recurso. Esto incluye el uso de dispositivos ahorradores de agua, la adopción de métodos de riego eficientes, la reutilización y reciclaje de aguas grises, y la

implementación de políticas y programas de conservación del agua (García y Pérez, 2018).

Para simular el ahorro del agua en un proyecto de edificación, el BIM-6D, opera de la siguiente manera (División de Infraestructura Hídrica, APA de EE. UU., 2024).

1. Modela la Red Sanitaria, incluyendo los componentes detallados de los sistemas sanitarios, como tuberías, accesorios, tanques y sistemas de reutilización de agua, todos con propiedades de capacidad, caudal y eficiencia.
2. Simula y analiza el uso de agua, teniendo en cuenta la estimación del consumo basado en el uso previsto del edificio, el número de ocupantes, y las prácticas de conservación de agua implementadas.
3. Analiza el ciclo de vida del edificio, evaluando sistemas de recolección de agua de lluvia, sistemas de reciclaje de agua gris, y la eficiencia de los sistemas de riego.
4. Optimiza y apoya la toma de decisiones de los diseñadores, constructores y propietarios del proyecto, permitiéndoles tomar decisiones informadas para optimizar el uso del agua. Esto puede incluir la implementación de tecnologías más eficientes, cambios en las prácticas de mantenimiento o la adopción de políticas de conservación de agua.

La Tabla 4 presenta algunas herramientas que permiten modelar y simular la eficiencia hídrica dentro de redes de distribución de tuberías de un edificio, así como la simulación de sistemas de recolección y reciclaje de agua, evaluando su comportamiento hidráulico en diferentes escenarios. Esto permite planificar, diseñar, operar y evaluar sistemas de distribución de agua, así como proponer estrategias de conservación y ahorro hídrico, contribuyendo a una gestión más sostenible y eficiente de este recurso tan importante para el ser humano.

Tabla 4. Herramientas de Simulación para el ahorro de agua

Software BIM 6D	Empresa / Institución	Comentarios
EPANET	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU	Realiza simulaciones en amplios periodos de tiempo del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión.
WaterCAD	Bentley Systems, Inc	Permite diseñar, analizar y optimizar redes de distribución de agua
OpenFlows Water GEMS	Bentley Systems	Software de modelado y gestión de sistemas de distribución de agua, trabaja con modelos hidráulicos dentro del entorno de ArcGIS.

De esta forma, el BIM-6D, tal como se esquematiza en la Figura 4, utiliza una combinación de modelado detallado, simulaciones, integración de datos en tiempo real y análisis del ciclo de vida para calcular y gestionar el consumo de agua en proyectos de edificación, contribuyendo a una construcción y operación más sostenible.

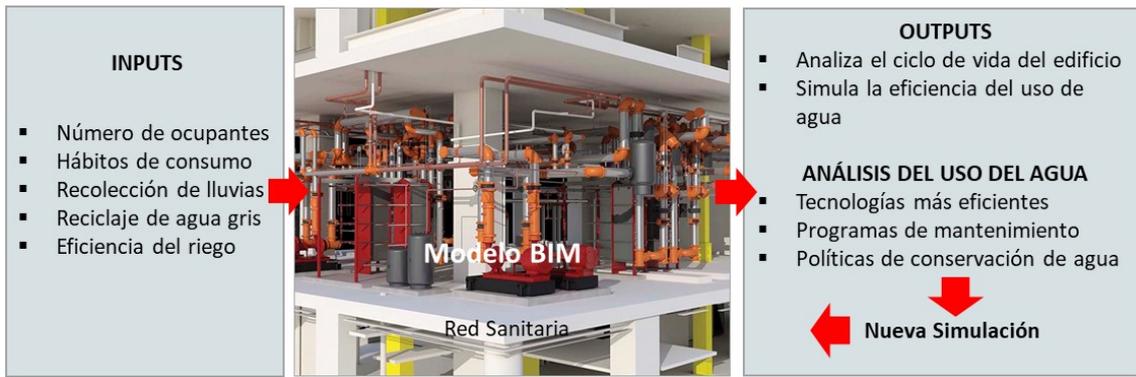


Figura 4. Esquema conceptual de la Simulación de la Eficiencia Hídrica con BIM-6D

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES DEL BIM-6D

Tradicionalmente, la selección de los materiales a usar en un proyecto de construcción obedece a criterios técnicos que tienen que ver con la resistencia y durabilidad, tanto en estado estático como dinámico, así como también a estándares de calidad, rapidez de construcción, criterios estéticos y, sobre todo, criterios de costo.

Sin embargo, al elegir un material, muchas veces no se toma en cuenta el criterio sostenible, que considera que entre un material y otro existe un impacto diferente sobre el medio ambiente y la sociedad. Por ejemplo, si en el mercado se dispone de ladrillos de arcilla o concreto para la mampostería, a los criterios tradicionales de elección, debería incorporarse el criterio de sostenibilidad. La extracción de cada materia prima impacta de diferentes formas a la huella ambiental; los métodos de fabricación utilizan insumos y recursos distintos; los transportes demandan diferentes medios y distancias; su colocación en obra requiere insumos y consumos diferentes; y finalmente, su fin de vida puede tener reusos o reciclajes distintos.

Con el BIM-6D, los arquitectos, ingenieros y otros profesionales de la construcción que buscan seleccionar materiales sostenibles para sus proyectos, pueden acceder a una base de datos de materiales con la información necesaria para su comparación y elección. Para ello, el BIM-6D opera de la siguiente manera (Bionova Ltd., s.f.):

1. Instala un complemento que permite integrar una base de datos de materiales sostenibles compatible con el software BIM que se esté utilizando.
2. Importa los datos de los materiales, incluyendo información relevante, como el análisis del ciclo de vida, el impacto ambiental y las certificaciones de sostenibilidad.
3. Utiliza herramientas de evaluación y análisis para comparar y seleccionar materiales sostenibles en función de su rendimiento y su huella ambiental.
4. Simula el impacto ambiental y evalúa el ciclo de vida.

La Tabla 5 muestra algunos softwares que permiten hacer el análisis del ciclo de vida de los materiales, evaluar el impacto ambiental y calcular la huella de carbono embebida en los materiales de construcción.

Tabla 5. Herramientas para la Evaluación de Materiales Sostenibles para la Construcción

Software BIM 6D	Empresa / Institución	Comentarios
Tally	Instituto de Investigación Ambiental de EE.UU (USGBC)	Este complemento de Revit contiene una base de datos de materiales y productos con los que se evalúa la huella de carbono incorporada del edificio.
One Click LCA	One Click LCA	Utiliza una librería de materiales de construcción para realizar cálculos de ciclos de vida. Se pueden importar archivos desde Excel, desde Revit, gbxml y otras plataformas de modelado.
EC3	Carbon Leadership Forum	Herramienta que permite estimar la emisión de carbono en la construcción, utilizando una base de datos de todas las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para el concreto, acero, madera, vidrio, aluminio, aislamiento, yeso, alfombras y tejas

La Tabla 6 muestra algunas bases de datos que proporcionan información relevante sobre la huella ambiental embebida en los principales materiales de construcción, muchos de los cuales cuentan con la Declaración Ambiental de Producto (DAP), válidas para la región donde se producen dichos materiales.

Tabla 6. Bases de datos de la huella ambiental en materiales de construcción

Base de Datos	Institución	Comentarios
OpenDaP	Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja	Salud y medio ambiente
BEDEC- ITEC	Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya	Emisiones de CO2
Precautionary List	Perkins&Will	Toxicidad humana y ecotoxicidad
Friendly Materials	PMMT Arquitectura	Información toxicológica

La Figura 5 muestra de forma conceptual los datos de entrada al modelo y el cálculo de la huella ambiental embebida de los materiales, ya sea en huella de carbono, demanda energética o uso de agua. Una vez que la obra esté terminada y se inicie su fase de uso, se generará una huella operacional hasta su fin de vida, momento en el cual habrá otro impacto ambiental por su demolición y disposición final de sus residuos sólidos.



Figura 5. Esquema conceptual de la evaluación de la huella de carbono en los materiales de construcción

DISCUSIÓN

A partir de los resultados, es evidente que las herramientas tecnológicas proporcionadas por BIM-6D para la simulación de eficiencia energética, el ahorro del agua, y el cálculo de la huella ambiental de los materiales de construcción, contribuyen de una manera significativa al logro de la sustentabilidad empresarial.

SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS ODS 7, 11, 12 y 13

El uso de energía en los edificios como principal sector de consumo a nivel mundial, es de gran relevancia. Sin embargo, la eficiencia energética en los edificios sostenibles es un tema emergente que requiere más investigación (Hafez et al., 2023).

La tecnología que proporciona el BIM-6D mejora la eficiencia de energía, generando ahorros y haciéndola más asequible para todos (ODS 7), además al reducir el consumo energético de los edificios en las ciudades, se disminuyen proporcionalmente las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos (ODS 11). Esto también favorece una producción responsable (ODS 12), y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a mitigar el cambio climático (ODS 13).

SIMULACIÓN DEL AHORRO DE AGUA Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS ODS 6 y 12

Los recursos de agua dulce disponibles por persona han disminuido en más de un 20% en las últimas dos décadas debido al crecimiento poblacional y el desarrollo económico, y sin medidas correctivas, esta tendencia continuará (Naciones Unidas, 2020). La humanidad utiliza cada vez más el agua potable existente, por lo que el riesgo de estrés hídrico aumentará significativamente en todo el planeta, por ello, muchos países deberán aplicar medidas hídricas eficientes en la gestión y suministro de agua potable, sobre todo a nivel de la edificación (Silva, 2011).

El uso de BIM-6D permite optimizar el consumo de agua, lo que ayuda a reducir la escasez de este recurso vital (ODS 6) y promueve un consumo responsable de agua potable (ODS 12).

EVALUACION DE MATERIALES SOSTENIBLES Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS ODS 11, 12 y 13

La industria de la construcción ha enfocado su atención principalmente en la energía utilizada durante la fase de operación de los edificios, dejando en segundo plano la energía incorporada en los materiales de construcción. No obstante, esta evaluación es crucial en la toma de decisiones al diseñar y calcular la huella de carbono de un edificio (Alwam y Jones, 2014). El concreto, siendo el material de construcción más utilizado, seguido por el acero, es el principal foco para una producción con bajas emisiones de CO₂, por lo que la atención debe centrarse en el cemento mismo (Material Economics, 2019).

BIM-6D al analizar la huella ambiental de los materiales desde su extracción hasta su disposición final, contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ en las ciudades (ODS 11), permite la elección de los materiales con menor impacto ambiental, cumpliendo con un consumo responsable (ODS 12), y apoya la reducción de las emisión de gases de efecto invernadero, mitigando el cambio climático (ODS 13).

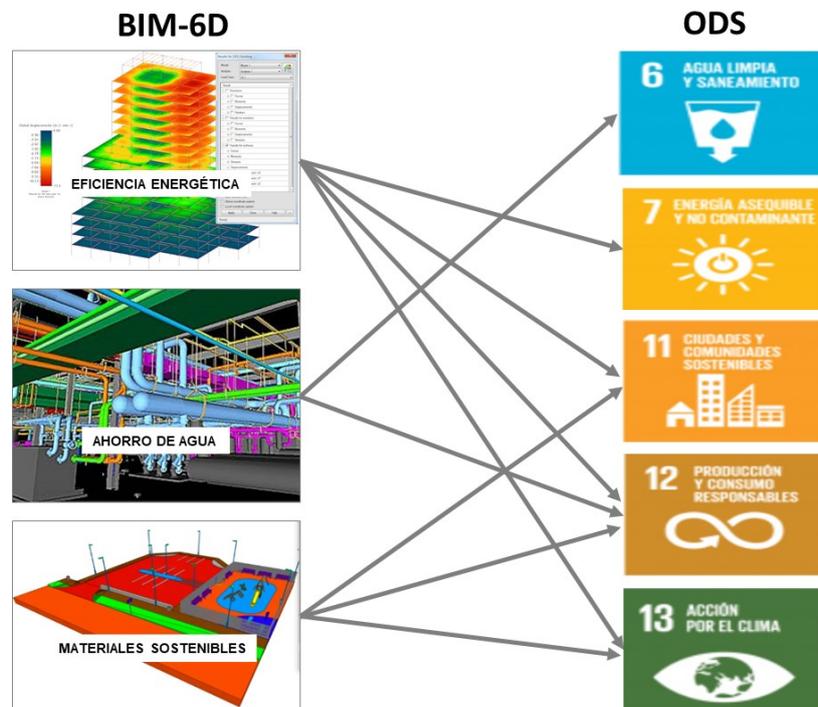


Figura 6. Principales contribuciones del BIM-6D a los ODS 6, 7, 11,12 y 13

La figura 6 resume gráficamente las principales contribuciones tecnológicas del BIM-6D al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). A continuación, se describen y comentan estos 5 ODS:

ODS 6: AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO

Este objetivo asegura la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos. Incluye 8 Metas y 11 Indicadores, como la mejora de la calidad del agua, el aumento de su uso eficiente y la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos. En el contexto de las edificaciones, se han desarrollado soluciones sostenibles

que reducen el consumo de agua y promueven el uso de fuentes alternativas (Sousa, et al., 2019).

ODS 7: ENERGIA ASEQUIBLE Y NO CONTAMIENTE

Este objetivo se enfoca en garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Contiene 5 Metas y 6 Indicadores, entre los que se incluyen el aumento de la proporción de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética. Los edificios representan un tercio del consumo mundial de energía y una cuarta parte de las emisiones de CO₂, lo que resalta su impacto en el cambio climático (González-Torres, et al., 2022).

ODS 11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

Este objetivo busca que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Incluye 10 metas y 14 indicadores, que promueven la adopción de prácticas de construcción sostenible y la mejora de la eficiencia energética en edificios y sistemas de transporte urbano. Las ciudades que buscan alcanzar sus objetivos de sostenibilidad pueden beneficiarse al involucrarse con las empresas en las primeras etapas de la planificación, aprovechando su capacidad para identificar soluciones innovadoras y rentables a los desafíos de sostenibilidad urbana, utilizando la experiencia tecnológica para mejorar la eficiencia energética en los edificios (United Nations Global Compact, 2018).

ODS 12: CONSUMO Y PRODUCCIÓN RESPONSABLE

Este objetivo se centra en garantizar patrones de consumo y producción sostenibles. Contiene 11 Metas y 13 Indicadores, que incluyen la eficiencia en el uso de recursos naturales y energéticos, y la reducción de la huella de carbono de productos y servicios. Analizar el impacto de carbono de los materiales de construcción de un edificio en una etapa temprana de diseño, proporcionará una valiosa indicación del impacto total del carbono y sus implicaciones a largo plazo para el cambio climático y la sostenibilidad del edificio. Actualmente, estos datos rara vez se consideran en la etapa de diseño ambiental (Alwam y Jones, 2014). En la gestión de las obras públicas, no hay normativas claras que promuevan las compras de materiales sostenibles ni la contratación pública verde (Lăzăroiu et al., 2020).

ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA

Este objetivo aborda la necesidad de tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos. Contiene 5 Metas y 8 Indicadores, con un enfoque en la eficiencia energética como medio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. El cumplimiento del ODS 13 implica cambios transformadores a lo largo de las cadenas de valor en las empresas de construcción, incluyendo una mayor eficiencia y esfuerzos para lograr la circularidad en el manejo de materiales (Johnsson, et al., 2020).

En resumen, el BIM-6D desempeña un rol crucial en la mejora del desempeño sostenible de un proyecto de construcción, especialmente si se utiliza en las etapas más tempranas del proceso.

CONCLUSIONES

La Agenda 2030, adoptada por la Asamblea General de la ONU, hace un llamamiento a los gobiernos, empresas y ciudadanos para que contribuyan al cumplimiento de 17 objetivos destinados a promover un desarrollo sostenible. La industria de la construcción, responsable de aproximadamente un tercio del consumo mundial de energía, de las emisiones de CO₂ y de la generación de los residuos sólidos, no puede permanecer ajena a este llamamiento.

En la literatura revisada no se encontró ninguna investigación que aborde específicamente la contribución de las herramientas tecnológicas ofrecidas por el BIM-6D al cumplimiento de estos objetivos. La incorporación de BIM-6D en los proyectos de construcción, cuya conceptualización se inició a principios de la década de 2010, representa un avance significativo en la capacidad de la industria de la construcción para definir, diseñar, construir y gestionar proyectos de edificación e infraestructura sostenibles.

El BIM-6D, a través de sus potentes simulaciones energéticas, sus herramientas para el ahorro del agua y el cálculo del impacto de la huella ambiental en los materiales de construcción, contribuye tecnológicamente a la mejora de la sustentabilidad empresarial.

Este artículo sostiene que dichas herramientas contribuyen a 5 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular y sin ser excluyente, a los ODS 6: Agua limpia y saneamiento, ODS 7: Energía asequible y no contaminante, ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, ODS 12: Producción y consumo responsable, y ODS 13: Acción por el clima.

Una limitación de este estudio es que la identificación de la contribución del BIM-6D a los ODS, se realiza de manera cualitativa y global, futuras investigaciones podrían centrarse en estudios de casos dirigidos a cuantificar la magnitud de estas contribuciones, evaluar en qué medida es posible mejorar la eficiencia energética, optimizar el consumo de agua, o reducir la huella ambiental en proyectos de construcción. Además, se podría identificar con mayor precisión a qué metas e indicadores específicos de los respectivos ODS se está contribuyendo.

Se espera que este artículo concientice a las empresas de la industria AECO, sobre el poder que la tecnología del BIM-6D ofrece para aportar a la sustentabilidad empresarial a través de su contribución a 5 de los ODS de la Agenda 2030.

REFERENCIAS

- Alwan, Z., & Jones, P. (2014). The importance of embodied energy in carbon footprint assessment. *Structural Survey*, 32(1), 49-60.
- Alawneh, R., Ghazali, F., Ali, H., & Sadullah, A. F. (2019). A novel framework for integrating United Nations Sustainable Development Goals into sustainable non-residential building assessment and management in Jordan. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101612.
- Alridha, Z., Khudhair, Z. A., & Zinkaah, O. H. (2023). Linking the construction industry to the sustainable development goals: A review. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2806, No. 1). AIP Publishing.

- Autodesk Construction Cloud. (2024). The evolution of BIM dimensions: 3D, 4D, 5D & beyond. Grace Ellis. <https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-dimensions/>
- Autodesk. (2024). Guía de usuario de Revit 2024: Panel de herramientas de dibujo. Autodesk. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ESP/?guid=GUID-2043E09F-40E5-4155-AE28-134F62E54F54>
- Bansal, P., & DesJardine, M. R. (2014). Business sustainability: It is about time. *Strategic Organization*, 12(1), 70-78.
- Bellido-Montesinos, P., Lozano-Galant, F., Castilla, F. J., & Lozano-Galant, J. A. (2019). Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis. *Journal of Building Engineering*, 21, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.10.012>
- Bionova Ltd. (n.d.). One Click LCA: Life cycle assessment software. <https://www.oneclicklca.com/>
- BSI. (2023). Little Book of BIM Edition 2023. https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-in/resources/little_book_of_bim_global_2023_final_web.pdf
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común*. Oxford University Press.
- Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213-227.
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- División de Infraestructura Hídrica, Centro de Soluciones Ambientales y Respuestas a Emergencias, Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (2024). *Manual de usuario EPANET*. Cincinnati, OH: Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.
- Elkington, J. (1997). The triple bottom line for 21st century business. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136.
- Ershadi, M., Jefferies, M., Davis, P., & Mojtahedi, M. (2021). Implementation of Building Information Modelling in infrastructure construction projects: a study of dimensions and strategies. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 9(4), 43-59. <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol9/iss4/>
- Fei, W., Opoku, A., Agyekum, K., Oppon, J. A., Ahmed, V., Chen, C., & Lok, K. L. (2021). The critical role of the construction industry in achieving the sustainable development goals (SDGs): Delivering projects for the common good. *Sustainability*, 13(16), 9112.
- García, A., & Pérez, M. (2018). *Gestión Sostenible del Agua en Edificaciones*. Editorial Técnicas de Construcción Sostenible.
- González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., Maestre, I. R., & Yan, D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports*, 8, 626-637.
- Goubran, S. & Cucuzzella, C. (2019). Integrating the sustainable development goals in building projects. *Journal of sustainability research*, 1(e190010), 1-43.
- Hafez, F. S., Sa'di, B., Safa-Gamal, M., Taufiq-Yap, Y. H., Alrifaey, M., Seyedmahmoudian, M., ... & Mekhilef, S. (2023). Energy efficiency in sustainable buildings: a systematic review with taxonomy, challenges, motivations, methodological aspects, recommendations, and pathways for future research. *Energy Strategy Reviews*, 45, 101013.

- Johnsson, F., Karlsson, I., Rootzén, J., Ahlbäck, A., & Gustavsson, M. (2020). The framing of a sustainable development goals assessment in decarbonizing the construction industry—Avoiding “Greenwashing”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110029.
- Kingo, L. (2024). El Pacto Mundial de la ONU: La búsqueda de soluciones para retos globales. <https://www.un.org/es/cr/C3%B3nica-onu/el-pacto-mundial-de-la-onu-la-b%C3%BAqueda-de-soluciones-para-retos-globales>
- Lăzăroiu, G., Ionescu, L., Uță, C., Hurloiu, I., Andronie, M., & Dijmărescu, I. (2020). Environmentally responsible behavior and sustainability policy adoption in green public procurement. *Sustainability*, 12(5), 2110.
- Material Economics. (2019). *Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*.
- Naciones Unidas. (2020). El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático. <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- Sampaio, A. Z., & Araújo, L. (2023). The 6D BIM model applied to evaluate the building energy performance. In *INCREaSE 2023. Advances in Sustainability Science and Technology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44006-9_20
- Silva-Afonso, A., Rodrigues, F., & Pimentel-Rodrigues, C. (2011, February). Water efficiency in buildings: Assessment of its impact on energy efficiency and reducing GHG emissions. In *Proceedings of the 6th IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environment—EE (Vol. 11)*.
- Sousa, V., Silva, C. M., & Meireles, I. (2019). Performance of water efficiency measures in commercial buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 251-259.
- United Nations Environment Programme. (2015). *Global waste management outlook*. UNEP. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9669>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Global status report for buildings and constructions*.
- United Nations Global Compact. (2018). *Progress report 2018*. <https://unglobalcompact.org/library/5637>
- Wen, B., Musa, S. N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L., Wang, W., & Ma, K. (2020). The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*, 185, 107091.