ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

# FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS PARA UN MODELO DE GESTIÓN DE LA ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN 4.0

# EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS FOR A MANAGEMENT MODEL OF TECHNOLOGICAL ADOPTION IN CONSTRUCTION 4.0

David Alexander Calderón Arregui[1], Pedro José Sánchez Caimán[2], Jaime Tinto Arandes[3]

{dacalderon07@gmail.com[1], pedro.sanchez@unimilitar.edu.co[2], doctinto@gmail.com[3]}

Fecha de recepción: 12/10/2026 / Fecha de aceptación: 03/11/2026 / Fecha de publicación: 09/11/2026

**RESUMEN: La adopción tecnológica en la Construcción 4.0 enfrenta desafíos que superan lo técnico y alcanzan dimensiones epistemológicas que condicionan la producción, la validación y el uso del conocimiento digital. El propósito del estudio fue desarrollar un marco epistemológico conceptual que fundamente un modelo de gestión para la adopción tecnológica en el sector. Se empleó un enfoque cualitativo, documental e interpretativo, basado en una revisión narrativa y selectiva de obras de filosofía de la ciencia y de literatura reciente sobre tecnologías de Construcción 4.0, con agrupación temática de unidades de significado y comparación conceptual entre tradiciones; el corpus no se construyó mediante una búsqueda sistemática. Como resultado, se proponen seis categorías epistémicas derivadas del análisis conceptual: validez y trazabilidad epistémica, coherencia ontológica y consistencia digital, complejidad y multicausalidad, pluralidad metodológica y dinamismo heurístico, justicia cognitiva y responsabilidad epistémica, y agencia cognitiva y capacidad interpretativa, que ofrecen una lectura interpretativa de tecnologías como BIM, IoT, inteligencia artificial, macrodatos, gemelos digitales y automatización, sin demostrar un efecto sobre la adopción. A partir de ellas se plantea el Modelo Epistemológico de Gestión para la Adopción Tecnológica, de carácter conceptual, que articula niveles epistemológicos, tecnológicos y organizacionales y ofrece una guía no validada empíricamente para orientar decisiones en entornos digitalizados. Se formulan indicadores preliminares, sin escala ni umbral de medición, y seis proposiciones hipotéticas, sin variables moderadoras definidas, ilustrados con un diagnóstico previo de una empresa constructora. Se reconocen como limitaciones el carácter selectivo del corpus, el peso de la interpretación de los autores, la ausencia de segundo codificador y de validación por expertos, y la falta de validación en organizaciones**

[1]Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza, Argentina), https://orcid.org/0000-0002-0332-3601, +593 998797705
[2]Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia), https://orcid.org/0000-0001-5719-7164, +57 3017878675
[3]Universidad Católica de Cuenca, Cuenca – Ecuador, https://orcid.org/0000-0001-8507-6837, +593 968940232

ISSN: 3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93
DOI: https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

**reales, y se recomiendan estudios empíricos sobre la relación entre justicia cognitiva, gobernanza del dato y agencia profesional en la Construcción 4.0.**

***Palabras clave: Epistemología; Construcción 4.0; Adopción tecnológica; Inteligencia artificial; Complejidad; Modelos de gestión***

**ABSTRACT: Technological adoption in Construction 4.0 faces challenges that extend beyond technical considerations and reach epistemological dimensions that shape the production, validation, and use of digital knowledge. The purpose of the study was to develop a conceptual epistemological framework that supports a management model for technological adoption in the sector. A qualitative, documentary, and interpretive approach was employed, based on a narrative and selective review of philosophy-of-science works and recent literature on Construction 4.0 technologies, with thematic grouping of units of meaning and conceptual comparison across traditions; the corpus was not built through a systematic search. As a result, six epistemic categories derived from conceptual analysis are proposed: epistemic validity and traceability, ontological coherence and digital consistency, complexity and multicausality, methodological plurality and heuristic dynamism, cognitive justice and epistemic responsibility, and cognitive agency and interpretive capacity. These categories offer an interpretive reading of technologies such as BIM, IoT, artificial intelligence, big data, digital twins, and automation, without demonstrating an effect on adoption. Based on them, a conceptual Epistemological Management Model for Technological Adoption is put forward, integrating epistemological, technological, and organizational levels and offering a guide, not empirically validated, for decision-making in digitalized environments. Preliminary indicators, with no measurement scale or threshold, and six hypothetical propositions, with no defined moderating variables, are formulated and illustrated with a prior diagnosis of a construction company. The study acknowledges the selective nature of the corpus, the weight of the authors' interpretation, the absence of a second coder and of expert validation, and the lack of validation in real organizations, and recommends empirical research on the relationship among cognitive justice, data governance, and professional agency in Construction 4.0.**

***Keywords: Epistemology; Construction 4.0; Technological adoption; Artificial intelligence; Complexity; Management models***

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la construcción ha incorporado de forma acelerada tecnologías digitales como BIM, Internet de las Cosas (IoT), macrodatos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, gemelos digitales, realidad aumentada y sistemas automatizados, lo que da forma a la Construcción 4.0. Este ecosistema modifica los procesos productivos y cambia la manera en que la ingeniería genera, valida y utiliza el conocimiento. Por eso, los criterios con que se decide adoptar una tecnología requieren examinar las fuentes, los métodos y las condiciones de legitimidad del conocimiento que respalda esas decisiones. Aquí, conocimiento técnico designa las afirmaciones, los

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

modelos, los datos y los criterios de decisión que los profesionales usan para diseñar, coordinar, ejecutar y controlar un proyecto, y cuya validez puede justificarse con evidencia, procedimientos documentados o contraste con el sistema físico.

La literatura sobre digitalización crece de forma sostenida y ha producido numerosas revisiones sistemáticas y estudios bibliométricos, pero los fundamentos epistémicos de la adopción tecnológica siguen poco explicados. Los trabajos recientes destacan la gestión del cambio, la cultura organizacional y la madurez digital (1); en la literatura consultada, rara vez abordan cómo se valida el conocimiento cuando intervienen datos masivos, algoritmos autónomos y modelos colaborativos. La investigación parece centrarse en variables operativas y dejar de lado la estructura epistémica que condiciona la confiabilidad, la validez y la aplicabilidad de la información digital y podría limitar la capacidad de los profesionales para evaluar las tecnologías emergentes. Las barreras organizacionales y de competencias siguen pesando en la adopción (2,3).

Otras disciplinas explican parte de esta brecha. Los modelos clásicos de aceptación y adopción describen la intención de uso y las condiciones del contexto; la sociología de la tecnología y la economía de la innovación estudian la difusión y los costos; la gestión del conocimiento analiza cómo se crean y se transfieren los saberes. Ninguna toma como objeto central por qué un modelo, un dato o una predicción merecen confianza como base de una decisión de ingeniería. Esa es la pregunta propia de la epistemología, y por ello se la elige como marco.

La ingeniería se ha formado bajo corrientes filosóficas como el racionalismo y el empirismo. Descartes (4) sostiene que el conocimiento debe apoyarse en principios claros y evidentes, deducidos por la razón; Bacon (5) y Hume (6) ubican en la experiencia el fundamento del saber. Estos enfoques guiaron la ingeniería clásica, pero los sistemas inteligentes complican la relación entre teoría, evidencia y práctica técnica, pues las decisiones se apoyan ahora en modelos algorítmicos, simulaciones que anticipan resultados y datos que llegan sin interrupción.

Desde la epistemología contemporánea hay herramientas útiles para este análisis. Popper (7) plantea que las hipótesis y los modelos computacionales deben exponerse a pruebas críticas. Kuhn (8) permite pensar la digitalización como un relevo de normas y expectativas en la práctica técnica, y Lakatos (9) describe programas de investigación cuyos núcleos teóricos se protegen y se reformulan con el tiempo. Feyerabend (10) defiende un pluralismo metodológico que da cabida a la flexibilidad en contextos innovadores; Morin (11) propone una mirada recursiva y sistémica de los fenómenos digitales; y Bunge (12) aporta un materialismo sistémico con criterios de rigor ontológico y coherencia conceptual, aplicables a tecnologías basadas en modelos matemáticos y sistemas ciberfísicos.

Las epistemologías del Sur señalan que la producción de conocimiento arrastra desigualdades, exclusiones y epistemicidio (13), de modo que la justicia cognitiva pasa a ser parte de la adopción tecnológica. La epistemología feminista aporta el conocimiento situado y la crítica de los sesgos algorítmicos (14,15), y la epistemología de las virtudes destaca la honestidad intelectual, la responsabilidad y la apertura en los

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

procesos de innovación (16,17). Las perspectivas de cognición encarnada y de neurociencia cognitiva describen la cognición humana como un proceso encarnado y dinámico, útil para analizar cómo los profesionales interpretan modelos digitales complejos (18,19).

El análisis se ubica en el contexto latinoamericano, y en particular en el ecuatoriano, donde se desarrolló el diagnóstico previo de los autores (apartado Resultados). El sector de la construcción de ese país se caracteriza por el predominio de pequeñas y medianas empresas, informalidad laboral y de procesos, una contratación pública que condiciona los plazos y los requisitos de las obras, y una adopción de BIM todavía incipiente y desigual entre organizaciones. En ese contexto importa saber quién accede a los datos, quién comprende los modelos y quién decide su uso, preguntas que las epistemologías del Sur permiten plantear.

Desde estas perspectivas, vincular la epistemología con la Construcción 4.0 resulta pertinente porque BIM, IoT, macrodatos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, realidad aumentada y gemelos digitales cambian cómo se diseñan, coordinan y gestionan los proyectos. Operan con datos masivos, procesos automatizados y simulaciones que los métodos tradicionales de evaluación técnica no alcanzan a verificar, y exigen criterios nuevos de validez, confiabilidad y pertinencia epistémica. Hace falta, por tanto, un marco que tome en cuenta la complejidad digital, la incertidumbre, la pluralidad de perspectivas y la relación entre personas y algoritmos.

Este artículo parte de un problema: la literatura consultada no ofrece un marco epistemológico explícito para orientar la adopción tecnológica en la Construcción 4.0. Los estudios sobre transformación digital se centran en variables operativas y organizacionales, y casi no analizan cómo se produce, se valida y se legitima el conocimiento técnico cuando el entorno está muy digitalizado.

Su objetivo general es construir un marco epistemológico conceptual que sirva de base a un modelo de gestión de la adopción tecnológica en la Construcción 4.0, articulando categorías filosóficas del conocimiento, tecnologías digitales avanzadas y dimensiones organizacionales. El estudio busca responder tres preguntas: cómo se produce y se valida el conocimiento técnico en entornos digitales complejos, qué tensiones epistemológicas surgen al adoptar tecnología, y qué fundamentos epistémicos pueden guiar un modelo de gestión que descanse en criterios científicos, cognitivos y éticos. Las respuestas se dan en las conclusiones. El modelo no se evalúa empíricamente.

El estudio propone un modelo epistemológico integrador, de carácter conceptual, que articula las categorías derivadas del análisis, el ecosistema tecnológico de la Construcción 4.0 y las dimensiones organizacionales afectadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio parte de un paradigma epistemológico crítico, interpretativo y sistémico, porque la adopción tecnológica en la Construcción 4.0 abarca, además de lo técnico, dimensiones ontológicas, cognitivas, éticas y sociohistóricas. Del materialismo sistémico

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

y el realismo científico (7,12) se toma la idea de que los objetos de estudio son sistemas estructurados, explicables con teorías sujetas a contrastación. El pensamiento complejo (11) contribuye con los niveles de organización, la retroalimentación y la incertidumbre. La noción de programa de investigación (9) ayuda a ver cómo los núcleos teóricos de la ingeniería se mantienen y se reformulan, y las epistemologías del Sur (13) y feministas (14) ponen en cuestión el poder y las exclusiones cognitivas. Cada posición cumple una función distinta como lente analítico y ninguna se asume como doctrina única; las tensiones entre ellas se tratan en el apartado «Alcance de los resultados y compatibilidad entre tradiciones».

La investigación es aplicada por su intención, teórico-analítica, cualitativa, documental, hermenéutica y crítica. Es aplicada porque busca contribuir a formular un modelo de gestión, aunque no evalúa su impacto; teórico-analítica porque construye y articula conceptos y categorías en lugar de producir datos cuantificables; y documental porque trabaja con libros, artículos y documentos técnicos mediante análisis de contenido y hermenéutica crítica (20,21). No usa técnicas cuantitativas ni análisis estadísticos, ya que busca construir un marco y no medir la adopción. El enfoque crítico cuestiona los supuestos de la ingeniería tradicional y las tensiones de poder en la digitalización del sector (7,14).

El diseño fue una revisión narrativa y selectiva con comparación epistemológica, no una revisión sistemática. Se leyó la literatura filosófica sobre racionalismo, empirismo, falsacionismo, paradigmas, programas de investigación, anarquismo epistemológico, pensamiento complejo, materialismo sistémico, epistemologías del Sur y feminista, cognición encarnada, epistemología de las virtudes y filosofía de la información, y la literatura sobre Construcción 4.0, BIM, IoT, macrodatos, inteligencia artificial, gemelos digitales, automatización y gestión del cambio. El corpus es selectivo e intencional e incluye obras de Descartes (4), Bacon (5), Hume (6), Kuhn (8), Feyerabend (10), Haraway (15), Zagzebski (16), Varela et al. (18) y Floridi (22), junto con publicaciones sobre digitalización de la construcción. Se incluyeron obras fundamentales de cada tradición filosófica considerada y publicaciones de 2019 a 2026, en español o inglés, con referencia verificable, que trataran las tecnologías analizadas o la adopción tecnológica y su dimensión cognitiva u organizacional (21). Se excluyeron los documentos comerciales sin autoría identificable, los textos puramente técnicos sin relación con la adopción y las tecnologías no analizadas, como blockchain y drones. El corpus suma 66 referencias: 18 de filosofía y epistemología, 2 metodológicas, 3 sobre teorías de adopción y 43 sobre Construcción 4.0 y tecnologías asociadas. Al no aplicarse una estrategia de búsqueda sistemática (bases de datos, ecuaciones de búsqueda o diagrama de selección), el corpus no es exhaustivo ni replicable en sentido estricto.

Primero se identificaron unidades de significado ligadas a nociones como conocimiento científico, validación, complejidad, sistema, poder epistémico, justicia cognitiva, autoridad algorítmica y cognición situada; luego se agruparon por corriente teórica y se compararon. La comparación entre conceptos de tradiciones distintas se denominó triangulación conceptual, y el contraste entre posiciones filosóficas divergentes, triangulación epistemológica; ambas son contrastes entre teorías y fuentes y no

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

triangulación de datos empíricos (21). Después se relacionaron las corrientes con fenómenos de la Construcción 4.0, como el uso de BIM, la dependencia de algoritmos, la gestión de datos masivos y la cultura organizacional. Así se derivaron las categorías que fundamentan el modelo; la Tabla 1 explicita su derivación y la Figura 1 resume el flujo completo. El análisis lo realizaron los autores, sin segundo codificador ni validación por expertos. Para dar trazabilidad al proceso, el material suplementario S1 reúne una matriz elaborada a partir del análisis, con las unidades de significado y su fuente, tradición, categoría y tecnología asociadas.

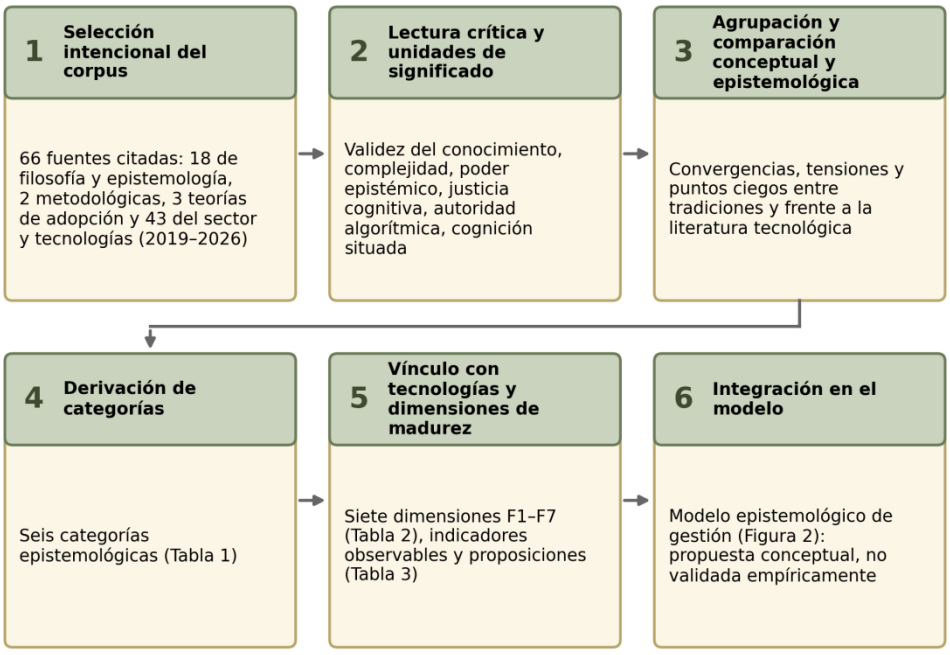



***Figura 1. Ruta de derivación del marco: del corpus a las categorías, los procesos y el modelo***

***Fuente: elaboración propia.***

La calidad se apoyó en la contrastación de fuentes, al comparar autores con posiciones divergentes (Popper y Kuhn, Bunge y Feyerabend), y en la coherencia argumental, mediante una secuencia explícita de inferencias entre corpus, categorías y modelo (Tabla 1). Como el corpus es selectivo y la interpretación corresponde a los autores, el estudio no pretende saturación ni reproducibilidad en sentido estricto. Su calidad se juzga por la explicitación del razonamiento, documentada en la Tabla 1 y en el material suplementario S1, aunque limitada por la falta de un registro de codificación independiente. Las consideraciones éticas se basaron en la responsabilidad epistémica, la integridad académica y el respeto por los derechos de autor (16,17), y se procuró explicitar los sesgos derivados de preferencias teóricas.

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

# RESULTADOS

***Panorama general de los hallazgos***

El análisis tuvo cuatro pasos. En el primero, la lectura de los textos filosóficos y de los artículos sobre adopción tecnológica sacó a la luz unidades de significado como validez del conocimiento, complejidad, evidencia empírica, autoridad epistémica, cultura organizacional, madurez digital y gestión del cambio. Como esa lectura estuvo guiada por las corrientes de la introducción, las categorías resultantes provienen del marco conceptual y no de un análisis inductivo. En el segundo, las unidades se relacionaron entre sí y con la literatura reciente sobre digitalización. En el tercero, la comparación conceptual y epistemológica puso las corrientes frente a conceptos de la literatura (interoperabilidad, sostenibilidad, automatización, gemelos digitales, analítica de datos y modelos de madurez) (1,23), con el fin de reconocer convergencias, tensiones y puntos ciegos. En el cuarto, el agrupamiento dio lugar a macrocategorías, que sugieren que la adopción depende de cómo las organizaciones generan confianza en los datos, interpretan los modelos digitales, manejan la incertidumbre y negocian las relaciones de poder que traen los algoritmos y la automatización (24).

*Resultados epistemológicos integrados*

La comparación entre racionalismo, empirismo y falsacionismo indica que adoptar tecnología exige claridad conceptual, evidencia empírica validada con sistemas digitales y una refutación que nunca se interrumpe. BIM puede leerse como estructura racional y empírica: la literatura consultada lo asocia con interoperabilidad, sostenibilidad y gestión del ciclo de vida. IoT se vincula con aprendizaje automático, macrodatos y computación en la nube, lo que muestra el peso de la evidencia empírica en las decisiones digitales. Los modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático necesitan recalibrarse de forma continua para evitar sesgos y errores acumulativos (25), en línea con la exigencia popperiana de ciclos permanentes de crítica y mejora (7).

Las lecturas de Kuhn, Lakatos y Feyerabend se usan solo por analogía. Coexisten prácticas analógicas basadas en documentación tradicional y prácticas digitales basadas en modelos multidimensionales (8); la ingeniería conserva núcleos estables, como los principios geométricos, físicos y matemáticos, mientras BIM, los algoritmos de IA y los sistemas ciberfísicos modifican su periferia (9); y la diversidad de combinaciones tecnológicas, que deben adaptarse a cada contexto, se vincula con el principio de que no existe un método único (10). No se afirma que la Construcción 4.0 sea un paradigma o un programa de investigación en sentido estricto, ni se evalúa su carácter progresivo, ni que la heterogeneidad tecnológica equivalga a pluralidad de métodos científicos.

Desde el pensamiento complejo y el materialismo sistémico, la Construcción 4.0 es un sistema multidimensional en el que interactúan factores técnicos, sociales, cognitivos, culturales y organizacionales: IoT actúa simultáneamente en construcción, gestión energética, sostenibilidad y automatización, lo que ilustra la multidimensionalidad que describe Morin (11). Esa complejidad exige coherencia ontológica: los gemelos digitales y los modelos BIM de alta interoperabilidad solo sirven de soporte de decisión si representan fielmente los sistemas físicos, y la consistencia interdominio en BIM debe

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

mantener correspondencia con el comportamiento real de los objetos simulados (12,26).

Según las epistemologías del Sur y la feminista, la digitalización puede reproducir asimetrías cognitivas, brechas tecnológicas y exclusiones si las tecnologías no se ajustan a los contextos locales. Entre los obstáculos figuran la infraestructura deficiente, la desigual competencia digital y la dependencia tecnológica (27); además, la IA usada en construcción podría reproducir sesgos de género, de territorio o de vulnerabilidad cuando no incluye criterios de inclusión (13,14,28). La justicia cognitiva se entiende aquí en sentido ampliado, como desigualdad de acceso y de comprensión del conocimiento digital; en De Sousa Santos (13) remite sobre todo a reconocer saberes diversos. Se requieren, en consecuencia, virtudes epistémicas como la prudencia y la humildad intelectual, y un liderazgo ético al implementar.

Las perspectivas de cognición encarnada y de filosofía de la información completan el cuadro. BIM, realidad aumentada, IA y gemelos digitales demandan visualización espacial, razonamiento causal y modelación mental, y la complejidad informacional de IoT y macrodatos exige gestionar la sobrecarga de información e interpretar patrones (18). A la vez, la centralidad de plataformas y algoritmos puede generar nuevas formas de autoridad epistémica, dependencia cognitiva y opacidad si no existen trazabilidad del dato y control humano (22); la interoperabilidad se convierte así en requisito de transparencia y confiabilidad.

*Articulación de los hallazgos con la Construcción 4.0*

BIM e IoT. Las lecturas llevan a interpretar BIM como un sistema de producción, validación y trazabilidad del conocimiento, además de una herramienta de modelado geométrico: la literatura consultada lo asocia con interoperabilidad, ciclo de vida, prefabricación y sostenibilidad, lo que sugiere que organiza información multidimensional en estructuras ontológicamente consistentes y verificables (29-31). IoT y los sistemas ciberfísicos forman una capa empírica más intensa: la observación puntual da paso a series temporales densas que alimentan modelos de análisis y predicción, en redes que conectan dispositivos físicos, plataformas y algoritmos (24,32,33).

Inteligencia artificial, macrodatos y gemelos digitales. La IA se aplica a optimizar procesos, anticipar comportamientos y automatizar decisiones de planificación, mantenimiento y gestión de riesgos (34-36); el conocimiento que genera es en parte opaco, de modo que requiere pruebas, contrastes y recalibraciones constantes. Los gemelos digitales son réplicas virtuales dinámicas usadas para simular, hacer mantenimiento predictivo y optimizar (37-41). Su validez depende de que coincidan las propiedades del sistema físico y las del modelo digital, lo que obliga a alinear la ontología de los datos, los parámetros de simulación y las observaciones empíricas.

Automatización, cambio organizacional y madurez. La robotización avanza en la prefabricación, el montaje automatizado, la inspección remota y las tareas peligrosas, y enfrenta límites de interoperabilidad, ciberseguridad y resistencia organizacional (42-

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

44). Capacitar no basta para resolver la resistencia al cambio, las brechas de competencias y las diferencias entre grandes empresas y organizaciones pequeñas o periféricas (2,45,46): detrás hay desigualdad en el acceso al conocimiento y en la posibilidad de influir en las decisiones tecnológicas (13), y cambian las relaciones de trabajo (3). Los modelos de madurez, empleados sobre todo para medir adopción, integración y estandarización (47,48), pueden suponer además una idea de qué conocimiento es válido y qué prácticas son avanzadas (interpretación que este estudio no contrasta con un modelo concreto). Un modelo de gestión debería, entonces, incluir trazabilidad epistémica, responsabilidad y coherencia ontológica.

Riesgos epistemológicos. La ciberseguridad, la opacidad algorítmica y la dependencia de plataformas indican que las decisiones del sector están cada vez más mediadas por sistemas cuya lógica interna no siempre resulta transparente para los profesionales (22); las brechas tecnológicas entre regiones y organizaciones pueden convertirse en nuevas formas de exclusión (13). Afectan, por tanto, la agencia de quienes toman decisiones, y no admiten solo una respuesta técnica.

En conjunto, la Construcción 4.0 implica algo más que una transformación instrumental: reconfigura cómo se produce, se valida y se distribuye el conocimiento en la ingeniería.

*Categorías epistemológicas derivadas*

Las categorías epistemológicas son constructos analíticos derivados del análisis conceptual de las tradiciones consideradas y de la literatura tecnológica. Cada una agrupa conceptos de una o varias familias filosóficas y los vincula con tecnologías y dimensiones organizacionales (Tabla 1). Se delimitaron seis categorías macroepistémicas.

Validez y trazabilidad epistémica. Sintetiza la claridad conceptual del racionalismo, la centralidad de la experiencia del empirismo, la refutación permanente del falsacionismo y las preocupaciones de la filosofía de la información por la opacidad de la información digital (7,22). Es especialmente relevante para BIM, IA y macrodatos, cuya confiabilidad depende de la calidad de los datos, de la documentación de los procesos y del registro de las fuentes (1,25,26).

Coherencia ontológica y consistencia digital. Se nutre del materialismo sistémico y del realismo científico, que exigen que los modelos representen sistemas reales con estructuras definidas, y del pensamiento complejo, que subraya su multidimensionalidad (11,12). Adquiere especial relevancia en gemelos digitales, modelos BIM de alta interoperabilidad y plataformas de simulación, cuya utilidad se compromete cuando existen incoherencias entre bases de datos, ontologías y observaciones empíricas (41,49-51).

Complejidad y multicausalidad. Procede del pensamiento complejo y se enriquece con la cognición encarnada y el análisis de sistemas ciberfísicos (11,18). IoT, aprendizaje automático, flujos continuos de datos y automatización configuran entornos donde

ISSN: 3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93
DOI: https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

múltiples variables se conectan en redes de alta densidad informacional; la adopción difícilmente puede explicarse mediante causalidades simples.

Pluralidad metodológica y dinamismo heurístico. Surge del diálogo entre el anarquismo epistemológico y la teoría de los programas de investigación (9,10). Automatización, impresión tridimensional, robótica de montaje, sistemas en la nube y realidad aumentada operan simultáneamente sin reducirse a un único protocolo (52-54), por lo que la innovación se apoya en la capacidad de combinar y reconfigurar métodos, tecnologías y formas de organización.

Justicia cognitiva y responsabilidad epistémica. Se construye desde las epistemologías del Sur, la epistemología feminista y la de las virtudes, que señalan que el conocimiento está atravesado por relaciones de poder y por requerimientos éticos de honestidad, responsabilidad y equidad (13,14,16). Las brechas digitales, la resistencia al cambio y las asimetrías entre grandes empresas y actores periféricos se traducen en desigualdades cognitivas en las decisiones de adopción (2,46); la digitalización puede reforzarlas o desafiarlas según cómo se diseñen el liderazgo, la capacitación y la participación.

Agencia cognitiva y capacidad interpretativa. Se fundamenta en las perspectivas de cognición encarnada, que conciben la cognición como proceso encarnado y situado, y en la filosofía de la información (18,22). Interpretar modelos digitales complejos exige visualización espacial avanzada, razonamiento causal bajo incertidumbre e identificación de patrones en grandes volúmenes de información; su ausencia constituye una barrera crítica de implementación (2,55-57).

Las seis categorías forman un sistema interrelacionado: la validez y la trazabilidad se apoyan en la coherencia ontológica; la complejidad obliga a la pluralidad metodológica, pues ningún método único basta para sistemas ciberfísicos complejos; y la justicia cognitiva carece de sentido si los actores no disponen de la agencia cognitiva necesaria para interpretar críticamente el conocimiento digital.

***Tabla 1. Derivación de las categorías epistemológicas: familias filosóficas, conceptos, tecnologías, dimensiones de madurez e implicaciones de gestión***

| Categoría | Familias filosóficas | Concepto tomado | Tecnologías vinculadas | Dimensiones de madurez (SMCeMM) | Implicación de gestión |
|---|---|---|---|---|---|
| Validez y trazabilidad epistémica | Racionalismo, empirismo, falsacionismo, filosofía de la información (7,22) | Claridad conceptual, evidencia, refutación permanente, opacidad | BIM, IA, macrodatos | F1 Liderazgo y estrategia; F5 Gestión de datos | Gobernanza del conocimiento digital: documentación, control de datos y transparencia algorítmica |
| Coherencia ontológica y | Materialismo sistémico y realismo | Representación fiel de sistemas reales | Gemelos digitales, BIM | F4 Estandarización y | Evaluar la calidad de modelos y |

ISSN: 3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93
DOI: https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| consistencia digital | científico; pensamiento complejo (11,12) | | interoperable, plataformas de simulación | automatización; F5 Gestión de datos | plataformas antes de usarlos en decisiones críticas |
| Complejidad y multicausalidad | Pensamiento complejo; cognición encarnada (11,18) | Multidimensionalidad y retroalimentación | IoT, aprendizaje automático, automatización | F2 Personas y cultura; F7 Innovación tecnológica | Estructura sistémica: dimensiones técnicas, organizacionales, cognitivas y contextuales |
| Pluralidad metodológica y dinamismo heurístico | Anarquismo epistemológico y programas de investigación, por analogía (9,10) | No existe un método único; núcleos y cinturones protectores | Automatización, impresión 3D, robótica de montaje, nube, realidad aumentada | F3 Colaboración y comunicación; F4 Estandarización y automatización; F7 Innovación tecnológica | Estrategias flexibles de adopción que combinan tecnologías y enfoques |
| Justicia cognitiva y responsabilidad epistémica | Epistemologías del Sur, feminista y de las virtudes (13,14,16) | Poder epistémico, honestidad intelectual, equidad | IA, plataformas, brechas tecnológicas | F2 Personas y cultura; F3 Colaboración y comunicación; F6 Gestión del cambio | Políticas de formación, liderazgo y participación que reduzcan brechas |
| Agencia cognitiva y capacidad interpretativa | Cognición encarnada y filosofía de la información (18,22) | Cognición situada; interpretación de modelos | BIM, realidad aumentada, IA, gemelos digitales | F1 Liderazgo y estrategia; F2 Personas y cultura | Reconocer el papel de quienes interpretan, cuestionan y reconfiguran el conocimiento |

***Fuente: elaboración propia a partir de lo expuesto en los apartados anteriores de resultados. Los vínculos son interpretaciones de los autores y no resultado de una codificación sistemática.***

En el modelo de gestión, cada categoría desempeña un papel. La validez y la trazabilidad epistémica fijan criterios para gobernar el conocimiento digital (documentación, control de datos, transparencia de los algoritmos). La coherencia ontológica orienta la evaluación de modelos BIM, gemelos digitales y plataformas integradas antes de apoyarse en ellos en decisiones críticas. Con la complejidad y la multicausalidad se llega a enfoques sistémicos que reúnen lo técnico, lo organizacional, lo cognitivo y lo contextual. La pluralidad metodológica justifica estrategias de adopción flexibles, que combinan tecnologías y enfoques. La justicia cognitiva da sustento a políticas de formación, liderazgo y participación que cierren brechas, y la agencia cognitiva enlaza el

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

modelo con la madurez digital y las decisiones, porque reconoce a quienes interpretan, cuestionan y reconfiguran el conocimiento digital.

*Dimensiones organizacionales asociadas a las categorías*

El análisis comparado entre las categorías derivadas y el ecosistema tecnológico permitió asociar a cada categoría las siete dimensiones de madurez organizacional del marco SMCeMM (1), que la literatura sobre madurez y adopción ya considera, pero que aquí se reinterpretan desde las categorías epistémicas.

La Tabla 2 relaciona las siete dimensiones (F1 a F7) con las categorías y las tecnologías. Liderazgo y estrategia (F1) exige decisiones basadas en evidencia, con análisis, verificación, trazabilidad y falsación ante los sistemas algorítmicos (7,22). Personas y cultura (F2) articula valores, normas y disposiciones cognitivas que facilitan o dificultan la transición tecnológica (58) y requiere competencias para interpretar modelos complejos (2,18). Colaboración y comunicación (F3) depende de la interoperabilidad y de la coordinación entre actores, que la fragmentación de los datos dificulta (41), y de la participación de quienes quedan fuera de las decisiones (13). Estandarización y automatización de procesos (F4) exige que la automatización conserve la trazabilidad y no imponga un único protocolo, dadas las barreras de interoperabilidad que se observan en la prefabricación y el montaje (42,44). Gestión de datos (F5) asegura coherencia ontológica, interoperabilidad y calidad epistémica en BIM, gemelos digitales y sistemas distribuidos (26,59). Gestión del cambio (F6) requiere sensibilidad epistémica, ética del cuidado y participación deliberativa frente a desigualdades y resistencias culturales (13,14). Innovación tecnológica (F7) se apoya en la capacidad de combinar y reconfigurar tecnologías y métodos según el contexto, sin depender de una sola plataforma (10). Las siete dimensiones recogen la arquitectura completa del marco SMCeMM; la madurez digital se entiende como la capacidad integral que resulta de su conjunto y que depende además de la infraestructura informacional (11,12). Estas dimensiones materializan las categorías en dinámicas institucionales y fundamentan el modelo propuesto.

***Tabla 2. Dimensiones de madurez organizacional (SMCeMM), categorías epistémicas que las sustentan y tecnologías implicadas***

| Dimensión de madurez (SMCeMM) | Categorías epistémicas que la sustentan | Condición que exige | Tecnologías implicadas |
|---|---|---|---|
| F1 Liderazgo y estrategia | Validez y trazabilidad epistémica; agencia cognitiva | Decisiones basadas en evidencia; análisis, verificación, trazabilidad y falsación ante sistemas algorítmicos | IA, macrodatos |
| F2 Personas y cultura | Justicia cognitiva; agencia cognitiva; complejidad y multicausalidad | Valores, normas y disposiciones cognitivas; competencias para interpretar modelos; acceso equitativo a la formación | BIM, realidad aumentada, IA, gemelos digitales |
| F3 Colaboración y comunicación | Pluralidad metodológica; justicia cognitiva | Interoperabilidad y coordinación entre actores; participación en las decisiones | BIM, computación en la nube, plataformas |

ISSN: 3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93
DOI: https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

| | | | |
|---|---|---|---|
| F4 Estandarización y automatización de procesos | Coherencia ontológica; pluralidad metodológica | Automatización con trazabilidad, sin imponer un único protocolo | Automatización, robótica, prefabricación |
| F5 Gestión de datos | Validez y trazabilidad epistémica; coherencia ontológica | Interoperabilidad, calidad epistémica y coherencia entre modelo y sistema físico | BIM, gemelos digitales, IoT |
| F6 Gestión del cambio | Justicia cognitiva y responsabilidad epistémica | Sensibilidad epistémica, ética del cuidado y participación deliberativa frente a desigualdades y resistencias | IA, plataformas, automatización |
| F7 Innovación tecnológica | Pluralidad metodológica y dinamismo heurístico; complejidad y multicausalidad | Combinar y reconfigurar tecnologías y métodos según el contexto, sin depender de una sola plataforma | Conjunto del ecosistema, en particular realidad aumentada, impresión 3D, nube e IA |

***Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 1 y de los apartados anteriores de resultados.***

*Operacionalización, ilustración con un caso y proposiciones*

Para que las categorías puedan observarse, la Tabla 3 propone un indicador por categoría, formulado como la pregunta de gestión que la distingue de las demás. Esos indicadores se contrastan con hallazgos publicados de un diagnóstico previo de los autores en una empresa constructora ecuatoriana (60). En ese diagnóstico, el conocimiento del impulso directivo alcanzó $\alpha = 0.81$ frente a $\alpha = 0.30$ de las acciones emprendidas, y la familiarización con las tecnologías ($\alpha = 0.44$) contrastó con su integración en procesos ($\alpha = 0.20$); el costo se identificó como barrera de alta intensidad ($\alpha = 0.686$). El componente cualitativo del diagnóstico agrega interoperabilidad insuficiente entre herramientas, planos impresos que persisten en la comunicación con producción, ausencia de enlace automático con el sistema de planificación, apropiación desigual del cambio y datos disponibles con capacidad analítica limitada. Estos hallazgos se asocian de forma interpretativa con las categorías de validez y trazabilidad, coherencia ontológica, justicia cognitiva y agencia cognitiva. La ilustración es interpretativa: el diagnóstico no se diseñó para medir estas categorías, es un solo caso y no constituye validación. Los indicadores son preguntas de gestión de respuesta cualitativa: carecen de escala de medición, de umbrales de decisión y de variables moderadoras (tamaño de la empresa, tipo de proyecto, nivel de formación), que deberán definirse en estudios posteriores.

***Tabla 3. Pregunta de gestión e indicador observable propuesto por categoría epistémica***

| **Categoría** | **Pregunta de gestión que la distingue** | **Indicador observable propuesto** |
|---|---|---|
| Validez y trazabilidad epistémica | ¿Puede rastrearse el origen de los datos que sustentan una decisión crítica? | Proporción de decisiones críticas con fuente de datos documentada y trazable |
| Coherencia ontológica y consistencia digital | ¿Representa el modelo fielmente al sistema físico? | Proporción de modelos y gemelos contrastados con mediciones del sistema físico antes de decidir |

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

| | | |
|---|---|---|
| Complejidad y multicausalidad | ¿Se consideran juntas las dimensiones técnica, organizacional, cognitiva y contextual? | Número de dimensiones consideradas en la decisión de adopción |
| Pluralidad metodológica y dinamismo heurístico | ¿Se comparan configuraciones antes de estandarizar una? | Configuraciones tecnológicas o pilotos comparados antes de la estandarización |
| Justicia cognitiva y responsabilidad epistémica | ¿Quién accede a los datos, a la formación y a la decisión? | Distribución del acceso a datos y capacitación por perfil y área |
| Agencia cognitiva y capacidad interpretativa | ¿Pueden los equipos interpretar y cuestionar las salidas del modelo? | Proporción de usuarios capaces de interpretar y cuestionar salidas del modelo |

***Fuente: elaboración propia.***

Proposiciones contrastables. Cada categoría permite formular una proposición para estudios posteriores. P1: a mayor trazabilidad documentada de los datos, mayor confianza de los usuarios en las salidas del modelo y mayor es su uso en decisiones críticas. P2: los modelos y gemelos digitales contrastados periódicamente con el sistema físico generan menos decisiones corregidas posteriormente. P3: las organizaciones que evalúan la adopción considerando juntas las dimensiones técnica, organizacional, cognitiva y contextual muestran menos desacoples entre reconocimiento y ejecución. P4: las estrategias que comparan configuraciones antes de estandarizar logran mayor integración en procesos. P5: cuanto más equitativo es el acceso a datos y formación entre perfiles, menor es la apropiación desigual del cambio. P6: cuanto mayor es la capacidad de los equipos para interpretar y cuestionar las salidas de los modelos, mayor es la integración de las tecnologías en los procesos. Son hipótesis derivadas del análisis conceptual: no especifican la magnitud esperada del efecto ni variables moderadoras, y su contraste exigirá definir escalas y umbrales.

*Representación integradora del modelo epistemológico de gestión*

La síntesis de los hallazgos permitió construir una representación estructural que integra los niveles epistemológicos, tecnológicos y organizacionales implicados en la adopción tecnológica en la Construcción 4.0. Surge de la triangulación entre las categorías derivadas, el ecosistema tecnológico digital y las dimensiones organizacionales identificadas en los apartados anteriores, y constituye una propuesta conceptual que no ha sido validada empíricamente ni mediante contraste con expertos. El modelo expresa relaciones de dependencia y coherencia ontológica entre los niveles que intervienen en la transformación digital del sector (la retroalimentación entre ellos es un supuesto del marco y no se representa en la Figura 2).

La Figura 2 organiza el modelo en cuatro niveles: un propósito epistemológico que orienta a los demás; las seis categorías derivadas; el ecosistema tecnológico sobre el que se apoyó el análisis (blockchain y drones se excluyeron porque no fueron analizados); y las dimensiones organizacionales F1 a F7, donde convergen tecnologías y categorías. Los niveles culminan en un bloque integrador de lineamientos epistemológicos, cognitivos, éticos y organizacionales para la adopción. La figura funciona como mapa epistemológico-organizacional de las condiciones de una adopción coherente y crítica,

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

y no como modelo de madurez. Su traducción en procedimientos, indicadores y criterios de decisión queda como línea futura.

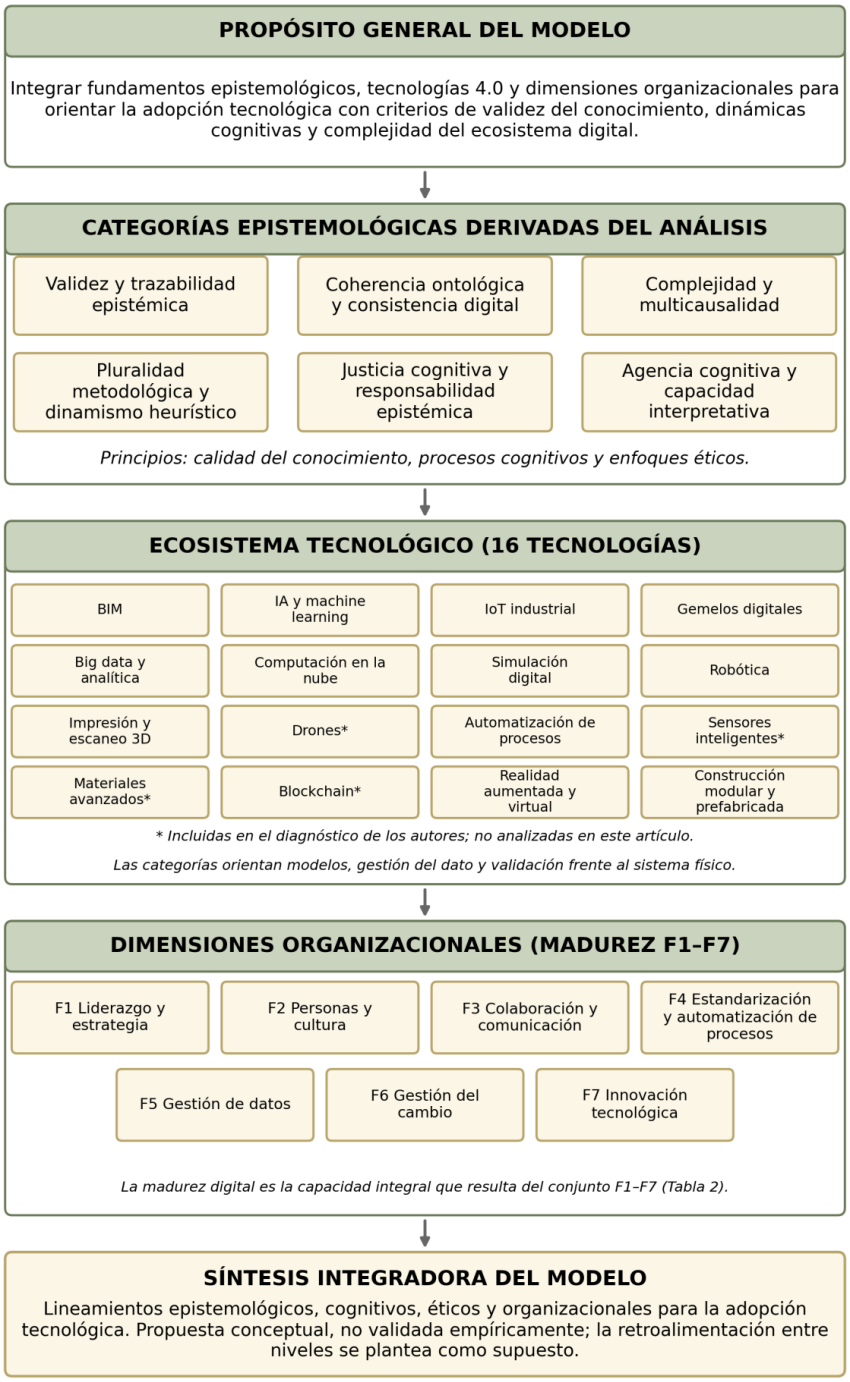



***Figura 2. Esquema conceptual del Modelo Epistemológico de Gestión para la Adopción Tecnológica en la Construcción 4.0***

***Fuente: elaboración propia. Representación conceptual no validada empíricamente.***

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

*Alcance de los resultados y compatibilidad entre tradiciones*

Los resultados se derivan de las decisiones metodológicas descritas: enfoque cualitativo, documental, hermenéutico y crítico, con agrupación temática de unidades de significado y derivación explícita de las categorías (Tabla 1). La coherencia se apoyó en dos recursos. La triangulación conceptual operó entre corrientes epistemológicas y entre ese conjunto teórico y la literatura tecnológica (BIM, IoT, IA, macrodatos, gemelos digitales, automatización y madurez digital), para no depender de una sola tradición o fuente. La triangulación epistemológica confrontó posiciones divergentes (racionalismo frente a empirismo, falsacionismo frente a enfoque paradigmático, Bunge, Morin y las epistemologías del Sur) para detectar inferencias reduccionistas o eurocéntricas (7-9,11,12). Dado que el estudio es conceptual, documental y de corpus selectivo, no logró ni buscó saturación y carece de validación empírica y de validación por expertos; sus resultados son una propuesta interpretativa de los autores.

Compatibilidad entre tradiciones. Cada tradición actuó como un lente con una función propia. Bunge y Popper proveyeron criterios de fidelidad y contrastabilidad para los modelos digitales; el pensamiento complejo guio la lectura de la multicausalidad; las epistemologías del Sur, feminista y de las virtudes, la del poder y la responsabilidad; y la cognición encarnada y la filosofía de la información, la de la agencia interpretativa. Los supuestos compartidos son parciales y quedan tensiones abiertas: el pluralismo ontológico de Popper frente al materialismo de Bunge, o el rigor de ambos frente al pluralismo metodológico de Feyerabend. No se pretende fundirlas en una sola teoría; se indica qué aporta cada una a cada categoría (Tabla 1) y dónde sus supuestos restringen su uso. A Kuhn y a Lakatos se recurre por analogía, para describir dinámicas de la práctica de ingeniería, sin sostener que la Construcción 4.0 sea un paradigma ni un programa de investigación en sentido estricto.

## DISCUSIÓN

La discusión sitúa los hallazgos en diálogo con la literatura reciente sobre Construcción 4.0 y con los marcos epistemológicos analizados. Las tecnologías digitales avanzadas reconfiguran los procesos técnicos y también las condiciones en que se produce, valida y distribuye el conocimiento que sustenta la transformación digital del sector.

La literatura previa aborda la Construcción 4.0 sobre todo desde perspectivas tecnocéntricas, orientadas a medir adopción, beneficios y barreras (1,58,61-63), y suele asumir que los modelos digitales son fuentes confiables de conocimiento si se implementan bien. Este estudio sostiene que su validez y trazabilidad epistémica no pueden darse por supuestas. Hay convergencia en reconocer a BIM como infraestructura del ciclo de vida, a IoT como fuente de datos continuos, a la IA como base de predicción y a los gemelos digitales como ampliación de la simulación (25,26,50); aquí se las considera además dispositivos epistémicos. Además, la literatura consultada rara vez incorpora la justicia cognitiva, la responsabilidad epistémica o la agencia interpretativa (13,14,16), aunque la digitalización puede ampliar brechas si no

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

se considera quién accede a los datos, quién comprende los modelos y quién puede intervenir en su configuración.

El diálogo con trabajos previos matiza estos resultados. Floridi (22) describe la opacidad de la información digital, lo que respalda la categoría de trazabilidad, y Vallor (28) vincula la ética de la tecnología con virtudes que los profesionales deben cultivar, lo que respalda el énfasis en la responsabilidad epistémica. Los trabajos sobre gemelos digitales cognitivos (51) y con IA (41) plantean desafíos de implementación; aquí se propone leerlos también como problemas de confianza y validez del conocimiento, lectura por contrastar. La síntesis sobre relaciones laborales (3) describe cambios en los roles profesionales, que aquí se interpretan como una posible redistribución de la autoridad epistémica.

Frente a los modelos dominantes de adopción, TAM (64), UTAUT (65) y TOE (66), que explican la adopción por la utilidad percibida, las condiciones facilitadoras y el contexto tecnológico, organizacional y ambiental, este marco añade criterios que esos modelos no tratan de forma explícita: la validez del conocimiento que producen las tecnologías (validez y coherencia ontológica) y su distribución cognitiva (justicia y agencia cognitivas). Se formula como hipótesis, no como hallazgo, que el marco los complementa: que una tecnología se adopte por su utilidad percibida no garantiza que el conocimiento que produce sea válido, trazable ni accesible. Contrastarla exigiría comparar el poder explicativo de esos modelos con y sin los indicadores de la Tabla 3.

Al comparar a los autores aparecen tensiones que el modelo debe manejar. Para Popper, la validez de la IA y de los gemelos digitales dependería de que resistan la prueba (7). Feyerabend previene contra un único programa digital dominante, algo relevante ante las plataformas propietarias (10). Morin y Bunge exigen equilibrar complejidad y rigor (11,12). Las epistemologías del Sur llevan a preguntar si la adopción en contextos como el latinoamericano importa modelos ajenos sin crítica, cuestión que aquí no se contrasta (13). Y la cognición encarnada y la filosofía de la información plantean dónde está el límite entre ampliar capacidades y delegar demasiado la interpretación en los algoritmos (18,22).

En lo organizacional, la justicia cognitiva y la agencia interpretativa piden formar a las personas para entender críticamente modelos complejos, valorar la calidad de los datos y mantener una actitud reflexiva ante sistemas inteligentes, lo que repercute en la cultura organizacional, las decisiones y el liderazgo digital. A diferencia de los modelos de madurez revisados, el marco articula categorías filosóficas del conocimiento, tecnologías digitales avanzadas y dimensiones organizacionales, e incorpora validez epistémica, coherencia ontológica, justicia cognitiva y agencia interpretativa, que la literatura consultada no trata de forma explícita. Las categorías podrían operacionalizarse en instrumentos de diagnóstico de preparación organizacional, como el marco difuso FMARF de los autores (60); su vinculación con este marco epistemológico no se evalúa aquí.

Limitaciones. Primero, el corpus es selectivo e intencional y no se informa una búsqueda sistemática, por lo que puede reflejar sesgos de selección y no es replicable en sentido

ISSN:
3091-1796
Vol. 4 No. 11 PP. 71-93

DOI:
https://doi.org/10.56519/hw5pna79
Noviembre 2026

estricto. Segundo, la derivación de las categorías depende de la interpretación de los autores: no hubo segundo codificador ni validación por expertos (por ejemplo, un consenso Delphi), de modo que no puede estimarse la fiabilidad de la codificación. Tercero, predomina el canon filosófico occidental y las epistemologías del Sur están representadas por un solo autor. Cuarto, la comparación con TAM, UTAUT y TOE es conceptual. Quinto, muchas conexiones entre categorías y tecnologías son interpretaciones plausibles que carecen de evidencia propia del sector; la ilustración se apoya en un solo diagnóstico previo, no pensado para medir estas categorías, y no equivale a validación. Sexto, los indicadores y las proposiciones carecen de escalas, umbrales y variables moderadoras. Por último, el marco no cuenta con validación empírica ni con juicio de expertos.

## CONCLUSIONES

El estudio sostiene que explicar la adopción tecnológica en la Construcción 4.0 requiere ir más allá de los enfoques tecnocéntricos e incorporar una comprensión epistemológica de cómo el conocimiento digital se produce, se valida y se distribuye. Respecto de las preguntas de investigación: (1) el conocimiento técnico se produce y se valida con modelos y datos cuya validez depende de su trazabilidad y de la coherencia entre el modelo y el sistema físico; (2) las tensiones identificadas son la opacidad algorítmica, la fidelidad entre modelo y sistema físico, la desigualdad cognitiva y la delegación de la interpretación en algoritmos; (3) los fundamentos epistémicos de un modelo de gestión son las seis categorías propuestas, derivadas del análisis conceptual y sin validación empírica.

Las seis categorías (validez y trazabilidad epistémica, coherencia ontológica y consistencia digital, complejidad y multicausalidad, pluralidad metodológica y dinamismo heurístico, justicia cognitiva y responsabilidad epistémica, y agencia cognitiva y capacidad interpretativa) no aparecen formuladas de manera explícita como criterios de adopción tecnológica en la literatura consultada. Ofrecen una lectura posible de BIM como sistema de representación conceptual, de IoT como producción empírica continua, de la inteligencia artificial y los macrodatos como sistemas que requieren crítica, refutación y control, de los gemelos digitales como estructuras que exigen coherencia ontológica entre entidades físicas y digitales, y de la automatización como un fenómeno que pone a prueba la agencia humana y la responsabilidad epistémica. Esa lectura hace pensar que la digitalización podría desplazar la autoridad epistémica y cambiar el papel interpretativo que cumplen los profesionales.

De este análisis resulta el Modelo Epistemológico de Gestión para la Adopción Tecnológica en la Construcción 4.0, de carácter conceptual, que une el propósito epistemológico, las categorías, el ecosistema tecnológico y las dimensiones organizacionales de madurez. Que complemente a los modelos de madurez digital, sin superarlos, es una hipótesis por contrastar. Lo acompañan indicadores preliminares y seis proposiciones, sin escalas ni umbrales definidos. Quedan como limitaciones su base documental, el corpus selectivo, la interpretación de los autores, la falta de segundo codificador y de validación por expertos, y la ausencia de validación empírica. La

investigación futura debería operacionalizar las categorías, construir indicadores de trazabilidad epistémica, validar la codificación con expertos y aplicar el modelo en proyectos reales. En definitiva, la epistemología es una condición para comprender, evaluar y gobernar las transformaciones digitales de la Construcción 4.0.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Doctorado Interinstitucional en Ingeniería Industrial (Di3), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza, Argentina), en cuyo marco se desarrolla esta investigación, por la formación y el acompañamiento académico recibidos.

## DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

## CONTRIBUCIONES DE AUTOR

David Calderón Arregui: conceptualización, metodología, análisis formal, redacción del borrador original, visualización y administración del proyecto. Pedro José Sánchez Caimán: codirección y supervisión de la investigación, orientación metodológica, validación y revisión crítica. Jaime Tinto Arandes: dirección y supervisión de la investigación, orientación conceptual, validación y revisión crítica. Todos los autores revisaron y editaron el manuscrito y aprobaron la versión final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Das P, Perera S, Senaratne S, Osei-Kyei R. Paving the way for industry 4.0 maturity of construction enterprises: a state of the art review. Engineering, Construction and Architectural Management. 2023;30(10):4665-94. doi:10.1108/ECAM-11-2021-1001
2. Siriwardhana SD, Moehler RC, Fang Y. Construction 4.0 in Australia: Evaluating technological implementation, organisational adaptation and skills development. Journal of Innovation & Knowledge. 2025;10(6):100822. doi:10.1016/j.jik.2025.100822
3. Hajirasouli A, Assadimoghadam A, Bashir MA, Banihashemi S. Exploring the impact of Construction 4.0 on industrial relations: A comprehensive thematic synthesis of workforce transformation in the digital era of construction. Buildings. 2025;15(9):1428. doi:10.3390/buildings15091428
4. Descartes R. Meditaciones sobre la filosofía primera. Madrid: Editorial Tecnos; 1996.
5. Bacon F. The new organon. Jardine L, Silverthorne M, editors. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
6. Hume D. An enquiry concerning human understanding. Oxford: Oxford University Press; 2007.
7. Popper K. The logic of scientific discovery. London: Routledge; 2005.

8. Kuhn TS. The structure of scientific revolutions. 4th ed. Chicago: University of Chicago Press; 2012.
9. Lakatos I. The methodology of scientific research programmes. Worrall J, Currie G, editors. Cambridge: Cambridge University Press; 1999.
10. Feyerabend P. Against method. 4th ed. London: Verso; 2010.
11. Morin E. Introduction à la pensée complexe. Paris: Éditions du Seuil; 1990.
12. Bunge M. Doing science: in the light of philosophy. Singapore: World Scientific; 2017.
13. De Sousa Santos B. The end of the cognitive empire: the coming of age of epistemologies of the South. Durham: Duke University Press; 2018.
14. Harding S. Objectivity and diversity: another logic of scientific research. Chicago: University of Chicago Press; 2015.
15. Haraway D. Situated knowledges: the science question in feminism and the privilege of partial perspective. Feminist Studies. 1988;14(3):575-99.
16. Zagzebski L. Virtues of the mind: an inquiry into the nature of virtue and the ethical foundations of knowledge. Cambridge: Cambridge University Press; 1996.
17. Code L. What can she know? Feminist theory and the construction of knowledge. Ithaca: Cornell University Press; 1991.
18. Varela FJ, Thompson E, Rosch E. The embodied mind: cognitive science and human experience. Rev. ed. Cambridge (MA): MIT Press; 2016.
19. Damasio A. Self comes to mind: constructing the conscious brain. New York: Pantheon; 2010.
20. Creswell JW. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4th ed. Thousand Oaks: SAGE; 2014.
21. Flick U. Introducing research methodology: a beginner's guide to doing a research project. 2nd ed. London: SAGE; 2015.
22. Floridi L. The fourth revolution: how the infosphere is reshaping human reality. Oxford: Oxford University Press; 2014.
23. Flamini M, Naldi M. Maturity of Industry 4.0: A Systematic Literature Review of Assessment Campaigns. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2022;8(1):51. doi:10.3390/joitmc8010051
24. Kim S, Pérez-Castillo R, Caballero I, Lee D. Organizational process maturity model for IoT data quality management. Journal of Industrial Information Integration. 2022;26:100256. doi:10.1016/j.jii.2021.100256
25. Wang XQ, Chen P, Chow CL, Lau D. Artificial-intelligence-led revolution of construction materials: From molecules to Industry 4.0. Matter. 2023;6(6):1831-59. doi:10.1016/j.matt.2023.04.016
26. Wang Z, Ouyang B, Sacks R. Graph-based inter-domain consistency maintenance for BIM models. Automation in Construction. 2023;154:104979. doi:10.1016/j.autcon.2023.104979
27. Raj A, Dwivedi G, Sharma A, Lopes de Sousa Jabbour AB, Rajak S. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. International Journal of Production Economics. 2020;224:107546. doi:10.1016/j.ijpe.2019.107546
28. Vallor S. Technology and the virtues: a philosophical guide to a future worth wanting. Oxford: Oxford University Press; 2016.

29. Celik Y, Petri I, Rezgui Y. Integrating BIM and Blockchain across construction lifecycle and supply chains. Computers in Industry. 2023;148:103886. doi:10.1016/j.compind.2023.103886
30. García-Alvarado R, Soza P, Moroni G, Pedreros F, Avendaño M, Banda P, et al. From BIM model to 3D construction printing: A framework proposal. Frontiers of Architectural Research. 2024;13(4):912-27. doi:10.1016/j.foar.2024.03.002
31. Hadavi A, Alizadehsalehi S. From BIM to metaverse for AEC industry. Automation in Construction. 2024;160:105248. doi:10.1016/j.autcon.2023.105248
32. Althoey F, Waqar A, Hamed Alsulamy S, Khan AM, Alshehri A, Idris Falqi I, et al. Influence of IoT implementation on Resource management in construction. Heliyon. 2024;10(15):e32193. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e32193
33. Waqar A, Alharbi LA, Abdullah Alotaibi F, Othman I, Almujibah H. Impediment to implementation of Internet of Things (IOT) for oil and gas construction project Safety: Structural equation modeling approach. Structures. 2023;57:105324. doi:10.1016/j.istruc.2023.105324
34. Betancourt D, Muhanna RL. Interval deep learning for computational mechanics problems under input uncertainty. Probabilistic Engineering Mechanics. 2022;70:103370. doi:10.1016/j.probengmech.2022.103370
35. Subramanian A, Mahadevan S. Probabilistic physics-informed machine learning for dynamic systems. Reliability Engineering & System Safety. 2023;230:108899. doi:10.1016/j.ress.2022.108899
36. Venkatasubramanian K. Machine learning set to play a key role in the transition to Construction 4.0. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering. 2021;174(2):54. doi:10.1680/jcien.2021.174.2.54
37. AlBalkhy W, Karmaoui D, Ducoulombier L, Lafhaj Z, Linner T. Digital twins in the built environment: Definition, applications, and challenges. Automation in Construction. 2024;162:105368. doi:10.1016/j.autcon.2024.105368
38. Attaran S, Attaran M, Celik BG. Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0. Decision Analytics Journal. 2024;10:100398. doi:10.1016/j.dajour.2024.100398
39. Gembali V, Kumar A, Sarma PRS. A knowledge roadmap for digitally enabled sustainable construction and building supply chain management. In: Rossit DA, Hussain CM, editors. Evolution and trends of sustainable approaches. Elsevier; 2024. p. 167-87. doi:10.1016/B978-0-443-21651-0.00005-X
40. Kor M, Yitmen I, Alizadehsalehi S. An investigation for integration of deep learning and digital twins towards Construction 4.0. Smart and Sustainable Built Environment. 2023;12(3):461-87. doi:10.1108/SASBE-08-2021-0148
41. Najafzadeh M, Yeganeh A. AI-driven digital twins in industrialized offsite construction: A systematic review. Buildings. 2025;15(17):2997. doi:10.3390/buildings15172997
42. Li CZ, Tam VWY, Hu M, Zhou Y. Lean construction management: A catalyst for evaluating and enhancing prefabricated building project performance in China. Journal of Building Engineering. 2024;94:109930. doi:10.1016/j.jobe.2024.109930
43. Masood R, Lim JBP, González VA. Performance of the supply chains for New Zealand prefabricated house-building. Sustainable Cities and Society. 2021;64:102537. doi:10.1016/j.scs.2020.102537

44. Pawar P, Minde P, Kulkarni M. Analysis of challenges and opportunities of prefabricated sandwich panel system: A solution for affordable housing in India. Materials Today: Proceedings. 2022;65:1946-55. doi:10.1016/j.matpr.2022.05.193
45. Okonkwo C, Okpala I, Awolusi I, Nnaji C. Overcoming barriers to smart safety management system implementation in the construction industry. Results in Engineering. 2023;20:101503. doi:10.1016/j.rineng.2023.101503
46. Van Tam N, Toan NQ, Van Phong V. Investigating potential barriers to construction digitalization in emerging economies: A study in Vietnam. International Journal of Information Management Data Insights. 2024;4(1):100226. doi:10.1016/j.jjimei.2024.100226
47. Schumacher A, Sihn W. Development of a Monitoring System for Implementation of Industrial Digitalization and Automation using 143 Key Performance Indicators. Procedia CIRP. 2020;93:1310-5. doi:10.1016/j.procir.2020.03.012
48. Elhusseiny HM, Crispim J. A Review of Industry 4.0 Maturity Models: Theoretical Comparison in The Smart Manufacturing Sector. Procedia Computer Science. 2024;232:1869-78. doi:10.1016/j.procs.2024.02.009
49. Jiang Y, Su S, Zhao S, Zhong RY, Qiu W, Skibniewski MJ, et al. Digital twin-enabled synchronized construction management: A roadmap from construction 4.0 towards future prospect. Developments in the Built Environment. 2024;19:100512. doi:10.1016/j.dibe.2024.100512
50. Nick G, Kő A, Szaller Á, Zeleny K, Kádár B, Kovács T. Extension of the CCMS 2.0 maturity model towards Artificial Intelligence. IFAC-PapersOnLine. 2022;55(10):293-8. doi:10.1016/j.ifacol.2022.09.403
51. Yitmen I, Kovacic I, Tagliabue LC. Editorial: Cognitive digital twins for facilitating construction 4.0: Challenges and opportunities for implementation. Frontiers in Built Environment. 2023;9. doi:10.3389/fbuil.2023.1130115
52. Osorio Gómez CC, Herrera R, Pellicer E, Alzate Buitrago A, Aristizabal-Torres D. Construction 4.0: Cluster analysis and Research perspectives. Revista Ingeniería de Construcción. 2023;38(3):493-506. doi:10.7764/RIC.00083.21
53. Pompáš L, Kučera Ľ, Čechmánek D, Fiačan J. Construction design of the reaction arm for tightening tools. Transportation Research Procedia. 2023;74:568-75. doi:10.1016/j.trpro.2023.11.183
54. van der Heijden J. Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review. Building and Environment. 2023;244:110788. doi:10.1016/j.buildenv.2023.110788
55. Kumar P, Bhamu J, Sangwan KS. Analysis of Barriers to Industry 4.0 adoption in Manufacturing Organizations: an ISM Approach. Procedia CIRP. 2021;98:85-90. doi:10.1016/j.procir.2021.01.010
56. Olanrewaju OI, Kineber AF, Chileshe N, Edwards DJ. Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle. Building and Environment. 2022;207:108556. doi:10.1016/j.buildenv.2021.108556
57. Ullah F, Sepasgozar SME, Thaheem MJ, Al-Turjman F. Barriers to the digitalisation and innovation of Australian Smart Real Estate: A managerial perspective on the

technology non-adoption. Environmental Technology & Innovation. 2021;22:101527. doi:10.1016/j.eti.2021.101527

58. Grover V, Tseng SL, Pu W. A theoretical perspective on organizational culture and digitalization. Information & Management. 2022;59(4):103639. doi:10.1016/j.im.2022.103639
59. Kang TW, Mo Y. A comprehensive digital twin framework for building environment monitoring with emphasis on real-time data connectivity and predictability. Developments in the Built Environment. 2024;17:100309. doi:10.1016/j.dibe.2023.100309
60. Calderón Arregui DA, Sánchez Caimán PJ, Tinto Arandes J. Marco de diagnóstico difuso (FMARF) para evaluar la preparación organizacional ante la Construcción 4.0: validación de contenido y estudio de caso. Sage Sphere Multidisciplinary Studies. 2026;3(1):1-23. doi:10.63688/jw62aa70
61. Aghimien D, Aigbavboa C, Oke A, Thwala W, Moripe P. Digitalization of construction organisations – a case for digital partnering. International Journal of Construction Management. 2020;22(10):1950-9. doi:10.1080/15623599.2020.1745134
62. Iyer SV, Sangwan KS, Dhiraj. Development of an Industrial Symbiosis Framework through Digitalization in the Context of Industry 4.0. Procedia CIRP. 2024;122:515-20. doi:10.1016/j.procir.2024.01.075
63. Popa I, Ștefan SC, Olariu AA, Popa ȘC. Integrating digitalization opportunities into innovative public organizations' management process. Journal of Innovation & Knowledge. 2024;9(4):100564. doi:10.1016/j.jik.2024.100564
64. Davis FD. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly. 1989;13(3):319-40. doi:10.2307/249008
65. Venkatesh V, Morris MG, Davis GB, Davis FD. User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly. 2003;27(3):425-78. doi:10.2307/30036540
66. Tornatzky LG, Fleischer M. The processes of technological innovation. Lexington (MA): Lexington Books; 1990.