

Programación de procesos y medios digitales en el diseño arquitectónico: respuesta al ODS 9 de la Agenda 2030

Humberto Islas Ramos ⁽¹⁾

Resumen: El presente artículo aborda la programación de procesos y medios digitales en el diseño arquitectónico como un campo estratégico que contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS 9) de la Agenda 2030, relativo a la industria, la innovación y la infraestructura. Desde la perspectiva de la complejidad sistémica, se examina el papel del modelado de información para la construcción (*Building Information Modeling, BIM*) y su potencial para transformar los flujos de producción, los entornos colaborativos y las estrategias de sostenibilidad en la industria de la construcción. El argumento epistemológico es que la digitalización y la programación de procesos no se reducen a herramientas técnicas, sino estructuras cognitivas que promueven la reorganización del pensamiento proyectual, la cooperación interdisciplinaria y la eficiencia operativa. Asimismo, se reflexiona sobre la necesidad de superar resistencias institucionales y culturales que obstaculizan la plena implementación del BIM en contextos latinoamericanos. Se plantea que la programación digital constituye un nuevo paradigma de conocimiento arquitectónico, alineado con los principios del ODS 9, que impulsa la resiliencia, la innovación y la sustentabilidad industrial.

Palabras clave: Programación - Sistemas - BIM - Innovación digital - Optimización de recursos - Complejidad sistémica

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 77-78]

⁽¹⁾ **Humberto Islas Ramos** es Doctor en arquitectura por la UNAM, con maestría y licenciatura en arquitectura, también por la UNAM, cuenta además con dos diplomados, uno en Filosofía por la UNAM (2009) y otro en Aplicaciones de las TIC para la enseñanza, ambos por la UNAM (2008). Desde 1994 se ha desempeñado como docente de la carrera de arquitectura en la FES Aragón, en las áreas de Diseño, expresión y tecnología. En el posgrado en arquitectura, también de la FES Aragón, imparte desde 2011 asignaturas en los campos de conocimiento de Diseño Arquitectónico y Tecnologías, en este mismo programa fue responsable de 2015 a 2018. Es miembro del padrón de tutores del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM desde 2010.

Actualmente se encuentra adscrito al Centro de Investigación Multidisciplinaria Aragón como Profesor de Carrera titular “A” Tiempo Completo en la sub-área de expresión de la carrera de arquitectura. Es miembro fundador del Seminario Permanente de Investigación en Arquitectura del CIMA. Del Grupo Transdisciplinar de Investigación (GTI),

y del Seminario Permanente de Investigación Multidisciplinaria (SPIMA). Sus líneas de investigación son: Epistemología del diseño, Sistemas complejos, Herramientas digitales para el diseño. Ha producido y publicado diversos trabajos de investigación: Integración de la agenda 2030 en proyectos de diseño, análisis de movilidad vehicular, El concepto de complejidad sistémica en la programación de procesos *Building Information Modeling*, Modelo epistemológico para formar arquitectos hacia el futuro, Sistemas de programación arquitectónica, Enseñanza de la arquitectura para una nueva era, un modelo pedagógico emergente.

Introducción

La transformación digital del sector de la construcción ha redefinido los modos en que se concibe, diseña, produce y gestiona el espacio arquitectónico. En las dos últimas décadas, la introducción de un sistema de gestión de información aplicado al desarrollo de proyectos arquitectónicos, *Building Information Modeling* (BIM), y de herramientas de programación visual ha modificado radicalmente las dinámicas de trabajo, favoreciendo una mayor integración entre diseño, ingeniería de construcción y gestión (Eastman *et al.*, 2018). Este cambio no solo responde a una lógica tecnológica, sino que tampoco está completamente centrado en la evolución técnica de las herramientas de expresión y representación gráfica arquitectónica, sino que representa la oportunidad para una reconfiguración epistemológica del diseño arquitectónico entendido como un proceso sistémico complejo, no lineal y adaptativo.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS 9) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas plantea la necesidad de promover infraestructuras resilientes, impulsar la industrialización sostenible y fomentar la innovación tecnológica (ONU, 2015). En este marco, la programación digital y el modelado de información para la construcción se presentan como mecanismos que permiten articular la innovación con la sostenibilidad, optimizando recursos humanos, materiales y energéticos.

La arquitectura contemporánea enfrenta así el reto de integrar la digitalización no solo como una herramienta operativa, sino como un medio para la expansión del pensamiento proyectual. En palabras de Sacks *et al.* (2020), el sistema BIM debe entenderse como una plataforma de conocimiento compartido que transforma los esquemas convencionales de concepción del proyecto arquitectónico, al permitir que las decisiones de diseño sean gestionadas por datos multidimensionales en tiempo real. De esta manera, la práctica arquitectónica se aproxima a los principios del ODS 9, al promover procesos industriales más eficientes, sostenibles y colaborativos.

No obstante, la implementación de estos modelos no está exenta de tensiones. En el contexto latinoamericano, y particularmente en México, persisten barreras institucionales, culturales y educativas que dificultan la adopción plena de tecnologías como el BIM o la programación visual en los procesos académicos y profesionales (CEPAL, 2023). Estas

resistencias reflejan un desfase entre la velocidad de la innovación tecnológica y la estructura tradicional de la enseñanza y la práctica de la arquitectura.

El objetivo entonces es analizar el papel de los sistemas de programación de procesos y medios digitales en el diseño arquitectónico como respuesta al ODS 9, articulando un marco teórico desde la complejidad sistémica y proponiendo una lectura epistemológica del diseño digital como un fenómeno de innovación y sostenibilidad.

Complejidad sistémica, epistemología del diseño y fundamentos del BIM

La noción de complejidad sistémica proporciona un marco interpretativo fundamental para comprender la naturaleza dinámica y multidimensional del diseño arquitectónico contemporáneo. Rolando García (2006) apunta sobre este enfoque sistémico: un sistema cuyos elementos son heterogéneos en el sentido de que pertenecen al dominio de distintas disciplinas, pero son elementos que interactúan entre sí, de tal manera que son interdefinibles.

Desde esta perspectiva, el diseño arquitectónico puede entenderse como un proceso de programación de sistemas adaptativos. Las herramientas digitales, al permitir la simulación, el modelado y la interoperabilidad, actúan como mediaciones cognitivas que amplían la capacidad de análisis del arquitecto y facilitan la toma de decisiones en entornos de alta complejidad (Oxman, 2017).

El sistema *Building Information Modeling (BIM)* emerge en este contexto como un paradigma de gestión de información y conocimiento. Más allá de su carácter instrumental, el BIM constituye una estructura epistemológica que integra las dimensiones: espacial, formal, material, energética y temporal de un proyecto (Succar y Kassem, 2015). Al centralizar la información en modelos digitales interoperables posibilita la colaboración simultánea de distintos agentes, reduciendo errores y redundancias, y promoviendo la eficiencia del ciclo de vida de los edificios, definiendo una nueva forma operativa de aproximación a la resolución de proyectos arquitectónicos, y por consecuencia, promoviendo un replanteamiento funcional y operativo que requiere de nuevas habilidades y destrezas, tanto como la activación de nuevos mecanismos cognitivos.

Asimismo, la programación visual y algorítmica, a través de plataformas como *Grasshopper* o *Dynamo*, permite aprovechar principios de la teoría de sistemas, el pensamiento computacional y el diseño algorítmico de la forma geométrica, en estrategias proyectuales. Esta relación entre lógica matemática, pensamiento crítico analítico y creatividad abre nuevas vías de pensamiento arquitectónico donde el error, la iteración y la variación son entendidos como componentes del aprendizaje y la innovación (Astolfi, 1999).

El enfoque epistemológico que se propone aquí parte de reconocer que las tecnologías digitales no son neutrales; transforman los modos de conocer y proyectar. Según Calvo y Gómez (2022), el pensamiento computacional en arquitectura constituye una forma emergente de racionalidad que articula el análisis, la síntesis y la simulación como instrumentos de comprensión espacial. De este modo, la digitalización no reemplaza la creatividad humana, sino que la amplifica mediante entornos colaborativos y datos compartidos.

La capacidad de resolver problemas utilizando el pensamiento algorítmico incorpora consecuentemente un campo de desarrollo para el pensamiento estructurado basado en modelos y abstracciones, habilidades y recursos fundamentales para el diseño arquitectónico. En 1979 el arquitecto Edward T. White ya advertía de la importancia de la programación arquitectónica como parte de un esquema de sistematización del trabajo del arquitecto.

Cuando es necesario efectuar operaciones complejas o presentar una considerable cantidad de información, a menudo resulta útil emplear modelos. Los modelos o paradigmas proporcionan un SISTEMA para comprender la información (o las operaciones), así como sus relaciones y, por tanto, sirven como MEDIO para organizar y presentar ideas acerca de ambas. El hecho de que el programador considere el proyecto como un proceso, a menudo ayuda a definir el PAPEL que la programación desempeña en dicho proceso. A su vez, ese papel contribuye a determinar las OPERACIONES y las RELACIONES específicas, y a establecer la NATURALEZA del documento programador (White, 1972).

Hoy podemos constatar cómo los sistemas de cómputo y los medios digitales ya se usan extensivamente, y de manera regular en la fase creativa del proceso de diseño, como recurso de esquematización y conceptualización, además de un medio para complementar y ampliar las habilidades compositivas del diseñador. Así, el diseño paramétrico, generativo o algorítmico da cuenta de una asimilación instrumental, al aprovechar las plataformas digitales más innovadoras disponibles para el arquitecto, sin embargo, cabe aún la reflexión sobre qué tanto esta incorporación representa en la práctica académica un proceso de reconstrucción epistemológica emergente, y por tanto un campo de oportunidad para la construcción de conocimiento.

Observar el diseño como un fenómeno que va más allá de lo estrictamente metodológico u operacional, bien podría darnos la pauta para aprovechar muchas variables sistémicas del concepto de programación, lo cual implica un reconocimiento más preciso de los parámetros conceptuales que un diseñador ejecuta como criterio razonado en dichos sistemas, asumiendo entonces que para tal empresa se requiere de la activación de habilidades cognitivas y de pensamiento muy específicas que habrán de recuperarse o desarrollarse particularmente al enfrentar un entorno amplio de posibilidades, técnicas, operativas, conceptuales, pero sobre todo epistémicas.

Digitalización, innovación y transformación productiva

La integración del sistema BIM como tal, es decir, como un entorno sistémico, en la industria de la construcción implica una transformación estructural que va más allá de la adopción de un software que agiliza los procesos. Representa una nueva cultura de la información basada en la colaboración, la transparencia y la trazabilidad de los procesos (Kymmell, 2018). Según la OCDE (2021), las industrias que han adoptado sistemas de modelado de información reportan incrementos de productividad entre el 15% y el 25%,

así como reducciones significativas en el desperdicio de materiales y tiempo de ejecución. Esta transición se alinea directamente con los principios del ODS 9, que busca fortalecer la infraestructura resiliente y sostenible mediante la innovación tecnológica. La digitalización de la construcción, al igual que en otras industrias, permite avanzar hacia una economía circular donde los datos se convierten en un recurso para optimizar el uso de energía, materiales y tiempo. Este objetivo reconoce que el desarrollo contemporáneo requiere sistemas productivos robustos capaces de adaptarse a transformaciones tecnológicas, cambios globales y exigencias ambientales sin comprometer la equidad y la sostenibilidad (ONU-Habitat, 2022).

El ODS 9 plantea la necesidad de desarrollar infraestructuras que sean modernas, resilientes y sostenibles, entendidas no sólo como obras físicas sino como sistemas dinámicos que integran dimensiones tecnológicas, sociales y ambientales. En este sentido, García (2006) señala que los sistemas complejos se caracterizan porque sus elementos “se determinan mutuamente” y no pueden comprenderse mediante análisis fragmentados. Desde esta perspectiva, una infraestructura no puede analizarse únicamente desde la ingeniería: también incluye relaciones económicas, territoriales, culturales y ecológicas.

En términos epistemológicos, la programación digital introduce una lógica sistémica en el proceso de diseño. Cada parámetro, variable o restricción se convierte en un nodo dentro de una red de interacciones dinámicas. Esta visión relacional del diseño aproxima la práctica arquitectónica a las ciencias de la complejidad, donde la emergencia, la autoorganización y la adaptabilidad son principios fundamentales (Johnson, 2001). En este sentido, el arquitecto contemporáneo se convierte en un programador de sistemas, un mediador entre datos, materiales y contextos socio antropológicos.

Sin embargo, como señalan Díaz y Rojas (2021), la adopción del BIM en América Latina enfrenta un doble desafío: la brecha tecnológica y la brecha epistemológica. La primera refiere a la infraestructura y capacitación técnica insuficientes; la segunda, a la falta de integración del pensamiento sistémico en la enseñanza del diseño. Superar estas limitaciones requiere políticas públicas, inversión educativa y una transformación curricular que reconozca la programación y los entornos de trabajo colaborativo como campos de estudio esenciales en los procesos de formación de nuevos arquitectos.

Por otra parte, la innovación digital impacta también los modelos de gobernanza urbana y territorial. Las ciudades inteligentes (*smart cities*) utilizan sistemas de información geográfica y modelado de datos urbanos que derivan directamente de los principios de sistemas BIM, extendiendo su aplicación a escalas territoriales (Batty, 2018). Este enfoque permite no solo diseñar edificios, sino también optimizar redes de infraestructura, movilidad y energía, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia del ODS 9. Finalmente, la digitalización promueve una convergencia entre la arquitectura, la ingeniería y la ciencia de datos. Este carácter transdisciplinario redefine las competencias profesionales del arquitecto, quien debe aprender a programar, analizar y gestionar información compleja. Como advierte Oxman (2017), el diseñador digital se convierte en un operador de conocimiento, un intérprete de sistemas donde el código complementa a la expresión gráfica como lenguaje principal del pensamiento proyectual.

Innovación, resiliencia y sostenibilidad industrial

El desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes constituye uno de los ejes centrales del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS 9). En el ámbito arquitectónico y de la construcción, esta meta se traduce en la necesidad de transformar los modelos productivos y operativos mediante la incorporación de tecnologías digitales y estrategias de innovación que permitan optimizar recursos, reducir impactos ambientales y fortalecer la competitividad de las industrias (ONU-Habitat, 2023).

La innovación se ha convertido en el principal motor de cambio del sector. Según la *European Construction Industry Federation* (FIEC, 2022), más del 70% de las empresas constructoras europeas que implementan sistemas y metodologías BIM reportan mejoras sustanciales en la calidad del producto final y reducciones de entre 10% y 20% en costos operativos. Estas cifras reflejan la capacidad de la programación digital para reorganizar los procesos de trabajo y crear valor añadido a partir de la información.

El concepto de resiliencia industrial alude a la capacidad de las organizaciones para adaptarse a perturbaciones y mantener su funcionalidad frente a crisis. En el contexto post-pandemia, la resiliencia ha cobrado una relevancia particular, al poner de manifiesto la necesidad de ecosistemas digitales robustos que permitan continuidad operativa y colaboración remota (CEPAL, 2023). Los entornos BIM, combinados con herramientas de gestión en la nube, permiten un flujo de trabajo descentralizado que garantiza la interoperabilidad de los equipos técnicos incluso en condiciones adversas.

La sostenibilidad industrial, por su parte, se vincula estrechamente con la eficiencia energética, la economía circular y la reducción de emisiones. El BIM 4D y 5D, al integrar datos temporales y financieros, permite evaluar de manera predictiva el impacto de las decisiones constructivas, favoreciendo diseños de bajo consumo y estructuras más duraderas (Eastman *et al.*, 2018). La simulación de desempeño energético, la evaluación del ciclo de vida (LCA) y la fabricación digital son hoy instrumentos que amplían el alcance del arquitecto hacia una gestión integral del recurso material.

La digitalización también redefine la cadena de suministro de la construcción. A través de plataformas de gemelos digitales (*digital twins*), es posible generar réplicas virtuales de infraestructuras en operación que permiten anticipar fallas, reducir costos de mantenimiento y optimizar el uso de energía (Bosch *et al.*, 2021). Esta convergencia entre modelado BIM y análisis de datos en tiempo real ejemplifica cómo la programación de procesos constituye una herramienta estratégica para la sostenibilidad y la resiliencia industrial, en consonancia con las metas planteadas por el ODS 9.

El ODS 9 reconoce explícitamente que el avance industrial y tecnológico ha sido históricamente desigual. Por ello, propone reducir las brechas entre países y regiones mediante mejoras en acceso a infraestructura, capacidades tecnológicas y conectividad digital. Como señala Castells (2000), la falta de acceso a redes de información y conocimiento genera nuevas formas de exclusión social, económica y cultural. Amartya Sen (1999) coincide, afirmando que el desarrollo consiste también en ampliar capacidades reales de participación y agencia, lo que implica garantizar oportunidades tecnológicas e institucionales equitativas.

No obstante, la innovación tecnológica requiere de un acompañamiento institucional que promueva marcos normativos, estándares de interoperabilidad y políticas públicas orientadas a la digitalización del sector. En América Latina, iniciativas como la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos (2022) impulsan la adopción del modelado digital en proyectos públicos, reconociendo su potencial para transparentar los procesos y reducir la corrupción en la contratación de obras. Este tipo de programas evidencia que la innovación digital no es solo una cuestión técnica, sino también un componente ético y de gobernanza. La innovación abierta y la colaboración intersectorial son también pilares del nuevo modelo de desarrollo industrial. Los *living labs* (Laboratorios vivos) y plataformas de código abierto permiten compartir algoritmos, bibliotecas de materiales y estándares de modelado, lo que fomenta la experimentación colectiva y acelera los ciclos de innovación (Kvan, 2019). De este modo, el arquitecto deja de ser un diseñador aislado para convertirse en un agente dentro de una red global de conocimiento distribuido y colaborativo.

La relación entre innovación, resiliencia y sostenibilidad industrial no puede entenderse sin la mediación de los sistemas de programación digital. El BIM, la programación visual y la inteligencia artificial aplicadas al diseño hoy se han convertido en herramientas cognitivas que permiten al diseño arquitectónico operar como una estructura sistémica integrada, donde cada decisión proyectual repercute en la eficiencia y la sostenibilidad del entorno construido.

Educación digital y transformación institucional

Uno de los mayores retos para la consolidación del paradigma digital en arquitectura reside en la educación. La transición hacia modelos de enseñanza de la arquitectura que incorporen temas de innovación tecnológica y digital como el BIM y programación visual, exige una reconfiguración epistemológica de los programas académicos. La enseñanza tradicional, centrada en la representación y la manualidad, resulta insuficiente para enfrentar los desafíos de una industria orientada a la gestión de datos y la sostenibilidad (García y Calderón, 2021).

La alfabetización digital debe concebirse como una competencia transversal que involucre tanto la comprensión técnica de recursos y medios computacionales, como la reflexión crítica sobre su impacto social y ambiental. De acuerdo con la UNESCO (2023), la educación superior tiene la responsabilidad de formar profesionales capaces de integrar pensamiento computacional, ética digital y sostenibilidad en un mismo marco de acción. Esta visión coincide con el planteamiento del ODS 9, que vincula la innovación tecnológica con el desarrollo humano y la equidad.

En el contexto latinoamericano, la adopción del BIM en la educación ha sido irregular. Mientras algunas universidades han incorporado laboratorios de modelado digital y fabricación avanzada, otras continúan con currículos desactualizados que no contemplan a los sistemas de programación ni la gestión de información (Díaz y Rojas, 2021). Este desfase genera una brecha formativa que repercute directamente en la competitividad del sector y en la capacidad de innovación de los egresados.

La programación visual, mediante plataformas como *Grasshopper* o *Dynamo*, ofrece un entorno idóneo para ejercitar el pensamiento lógico, las capacidades de abstracción y una visión integral sistémica. Como señala Oxman (2017), la codificación paramétrica no solo produce geometrías complejas, sino que enseña a los estudiantes a pensar en términos de relaciones, dependencias y flujos. Esta forma de pensamiento estructural se alinea con la epistemología de la complejidad y con los principios de resiliencia del ODS 9, al fomentar la adaptabilidad y la innovación continua.

Por otra parte, la transformación institucional es indispensable para acompañar este cambio. Las universidades que forman nuevos arquitectos deben adoptar modelos de gestión del conocimiento basados en la colaboración interdisciplinaria, el uso de plataformas abiertas y la integración digital, por ejemplo, en el uso de inteligencia artificial para la tutoría personalizada, así como la evaluación automatizada (UNESCO, 2023). Bajo esta premisa, sin duda, se estaría dando una reconversión sustancial de los modelos de enseñanza de la arquitectura en donde el profesor deja de ser el transmisor exclusivo de información o guía procedimental, para convertirse en un mediador entre sistemas de gestión de datos, entornos colaborativos y procesos de aprendizaje dinámicos.

La formación y capacitación en el uso de nuevas tecnologías y la incorporación digital también reviste otro tipo de consideraciones, aunque deberíamos decir reconsideraciones, ya que redefine las nociones de autoría y producción intelectual. En un entorno donde los modelos, scripts y bases de datos se comparten globalmente, el valor académico se desplaza del resultado individual hacia la capacidad de generar conocimiento colectivo. Este fenómeno plantea nuevos dilemas éticos relacionados con la propiedad intelectual, la transparencia algorítmica y la sostenibilidad de los datos (Braidotti, 2019).

La transformación educativa requiere una infraestructura tecnológica sostenible. No basta con incorporar software; es necesario garantizar acceso equitativo a hardware, conectividad y capacitación continua. Según la CEPAL (2023), más del 40% de las instituciones educativas en América Latina carecen de recursos adecuados para implementar programas digitales integrales, lo que acentúa las desigualdades tecnológicas. Superar esta brecha implica políticas públicas que reconozcan la educación digital como un derecho y como un componente esencial de la resiliencia social.

Acciones desde la docencia y la investigación

En términos académicos, es necesario replantear el currículo para integrar temas que promuevan una visión sistémica y computacional como competencias fundamentales del diseño. Esto implica incorporar contenidos sobre gestión y análisis de información, por ejemplo, aplicación de sistemas BIM como plataforma cognitiva que permita gestionar información multidimensional. También incluir campos de estudio en donde se apliquen de manera razonada sistemas de programación como *Rhinoceros* para modelado 3D, acompañados de *Grasshopper* como recursos de diseño paramétrico y así para potenciar la abstracción, la iteración y la comprensión del error como parte del aprendizaje (Astolfi, 1999).

Es necesario diseñar ejercicios alineados con el ODS 9, orientados a la sostenibilidad, la eficiencia energética y la innovación tecnológica, en donde se fomente el trabajo transdisciplinar mediante proyectos compartidos y colaborativos con áreas como la ingeniería, las ciencias sociales o las ciencias biológicas.

La transformación digital en la enseñanza de la arquitectura requiere consolidar líneas de investigación en temas como la epistemología del diseño digital y el pensamiento computacional (Calvo y Gómez, 2022), la evaluación del ciclo de vida, simulación energética y economía circular como nuevas fronteras del diseño.

Es importante trabajar en la construcción de una ética digital, autoría distribuida e impacto de la IA en la producción arquitectónica (Braidotti, 2019), así como en la creación de laboratorios digitales y repositorios abiertos que favorezcan la innovación y el intercambio de conocimiento bajo modelos colaborativos.

En conjunto, estas acciones articulan una ruta clara para transformar la docencia y la investigación en arquitectura hacia un modelo congruente con los desafíos contemporáneos, la complejidad sistémica y la digitalización integral del diseño. Esta transformación no se limita a la adopción de nuevas herramientas, sino que implica un cambio profundo en los marcos de pensamiento que sustentan la práctica arquitectónica. Al integrar sistemas de programación abiertos, el análisis de datos, los sistemas BIM y la reflexión crítica sobre la tecnología, la formación del arquitecto se orienta hacia la comprensión de los procesos, las relaciones y las dinámicas que configuran los entornos construidos.

Este enfoque favorece una educación más flexible, capaz de adaptarse a la dinámica de un nuevo entorno tecnológico y a la necesidad de respuestas sostenibles en un contexto global cada vez más complejo. A través de proyectos interdisciplinarios, investigación aplicada y laboratorios de innovación, los estudiantes desarrollan habilidades para navegar escenarios reales, colaborar con actores de distintos campos y asumir un papel activo en la generación de conocimiento. Del mismo modo, la institución se fortalece al promover prácticas educativas basadas en la resolución efectiva de casos, la experimentación y el ejercicio de una ética digital.

Así, el tránsito hacia una arquitectura que se construye con información y datos amplía las posibilidades del diseño, fomenta la creatividad razonada y prepara a los futuros profesionales para enfrentar los retos sociales, tecnológicos y ambientales de un mundo altamente complejo y que exige soluciones simples.

Conclusiones

La programación de procesos y medios digitales en el diseño arquitectónico constituye una de las transformaciones epistemológicas más significativas del siglo XXI. En sintonía con el ODS 9, esta práctica reconfigura la industria de la construcción hacia modelos más sostenibles, resilientes e innovadores.

El análisis desarrollado permite observar cómo la digitalización redefine la noción misma de proyecto. Los sistemas BIM y los sistemas de programación introducen una racionalidad sistémica basada en la información, donde el diseño se concibe como un proceso

dinámico y colaborativo. Este cambio no es únicamente técnico, sino cognitivo: transforma la manera en que el arquitecto piensa, representa y comunica la forma.

La innovación tecnológica se consolida como un factor de resiliencia industrial. Las herramientas digitales permiten anticipar problemas, optimizar recursos y crear infraestructuras más sostenibles. Sin embargo, su eficacia depende de la existencia de marcos institucionales que promuevan la interoperabilidad, la transparencia y la equidad tecnológica. La educación emerge como el terreno decisivo para garantizar la sostenibilidad de esta transición. Formar arquitectos capaces de programar, analizar y colaborar en entornos digitales implica replantear los modelos pedagógicos y promover una cultura de aprendizaje continuo. La enseñanza de la arquitectura, en consecuencia, debe orientarse hacia la integración entre complejidad, tecnología y ética.

En última instancia, la programación digital no solo responde al ODS 9, sino que lo amplifica al ofrecer un marco cognitivo para entender la innovación como un proceso colectivo y adaptativo. La arquitectura se convierte así en un laboratorio de resiliencia donde la creatividad humana y la inteligencia artificial coexisten en la búsqueda de un futuro más sostenible.

Referencias bibliográficas

- Astolfi, J. P. (1999). *El error, un medio para enseñar*. Díada.
- Batty, M. (2018). *Inventing Future Cities*. MIT Press.
- Bosch, A., Volk, R., & Schultmann, F. (2021). *Digital twins for buildings: A systematic review*. *Automation in Construction*, 125, 103545.
- Braidotti, R. (2019). *Posthuman Knowledge*. Polity Press.
- Calvo, M., & Gómez, R. (2022). *Pensamiento computacional y diseño arquitectónico: nuevos marcos epistemológicos*. *Revista de Arquitectura Digital*, 14(2), 45–60.
- CEPAL. (2023). *Transformación digital y sostenibilidad en América Latina*. Naciones Unidas.
- Díaz, L., & Rojas, F. (2021). *Retos de implementación del BIM en Latinoamérica: brechas tecnológicas y epistemológicas*. *Arquitectura y Tecnología*, 9(1), 33–51.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.
- FIEC. (2022). *Construction Innovation Report 2022*. European Construction Industry Federation.
- García, P., & Calderón, D. (2021). *Educación arquitectónica y transformación digital: retos para la formación del siglo XXI*. *Revista Hábitat Sustentable*, 11(1), 21–34.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa.
- Johnson, S. (2001). *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*. Scribner.
- Kvan, T. (2019). *Open innovation in architectural practice*. *Design Issues*, 35(4), 29–40.
- Kymmell, W. (2018). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. McGraw-Hill.

- OCDE. (2021). *Digitalisation and Productivity in the Construction Sector*. OECD Publishing.
- ONU. (2015). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.
- ONU-Habitat. (2023). *Digital Transformation for Resilient Infrastructure*. United Nations Human Settlements Programme.
- Oxman, R. (2017). *Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking*. Design Studies, 52, 4–39.
- Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos. (2022). *Estrategias para la implementación pública del BIM en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2020). *BIM Handbook* (4th ed.). Wiley.
- Succar, B., & Kassem, M. (2015). *Macro-BIM adoption: Conceptual structures*. Automation in Construction, 57, 64–79.
- UNESCO. (2023). *Education for Digital Futures*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- White, Edward T. *Introducción a la programación arquitectónica*. Trillas, 1979

Abstract: This article examines the programming of digital processes and media in architectural design as a strategic field that contributes to the advancement of Sustainable Development Goal 9 (SDG 9) of the 2030 Agenda, concerning industry, innovation, and infrastructure. From the perspective of systemic complexity, it analyzes the role of Building Information Modeling (BIM) and its potential to transform production flows, collaborative environments, and sustainability strategies within the construction industry. The epistemological argument is that digitalization and process programming are not limited to technical tools but constitute cognitive structures that enable the reorganization of design thinking, interdisciplinary cooperation, and operational efficiency. Furthermore, the article reflects on the need to overcome institutional and cultural resistances that hinder the full implementation of BIM in Latin American contexts. It is argued that digital programming represents a new paradigm of architectural knowledge aligned with the principles of SDG 9, driving resilience, innovation, and industrial sustainability.

Keywords: Programming - Systems - BIM - Digital innovation - Resource optimization - Systemic complexity

Resumo: O presente artigo analisa a programação de processos e meios digitais no design arquitetônico como um campo estratégico que contribui para o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9 (ODS 9) da Agenda 2030, referente à indústria, à inovação e à infraestrutura. A partir da perspectiva da complexidade sistêmica, examina-se o papel do Building Information Modeling (BIM) e seu potencial para transformar fluxos de produção, ambientes colaborativos e estratégias de sustentabilidade na indústria da construção. O argumento epistemológico sustentado é que a digitalização e a programação de processos não se reduzem a ferramentas técnicas, mas constituem estruturas cognitivas que promovem a reorganização do pensamento projetual, a cooperação interdisciplinar

e a eficiência operacional. Ademais, reflete-se sobre a necessidade de superar resistências institucionais e culturais que dificultam a plena implementação do BIM em contextos latino-americanos. Defende-se que a programação digital configura um novo paradigma de conhecimento arquitetônico, alinhado aos princípios do ODS 9, impulsionando a resiliência, a inovação e a sustentabilidade industrial.

Palavras-chave: Programação - Sistemas - BIM - Inovação digital - Otimização de recursos - Complexidade sistêmica
