

EDITORIAL

PANORAMA TECNOLÓGICO PARA LA SUSTENTABILIDAD DEL AMBIENTE CONSTRUIDO: UNA VISIÓN EDITORIAL

La industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) atraviesa un cambio de paradigma impulsado por la necesidad crítica de mitigar el cambio climático. Actualmente, el sector de la edificación es responsable de aproximadamente el 34% del consumo de energía global y del 37% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía (Ahmed et al., 2026; Oliveira et al., 2026). Ante este escenario, la sustentabilidad ya no puede ser un objetivo periférico o un mero cumplimiento normativo; debe constituir el núcleo del diseño, la construcción y la operación, gestionada a través de tecnologías emergentes que permitan una precisión y eficiencia sin precedentes (Manzoor et al., 2025).

Una de las transformaciones más significativas ocurre en la fase de diseño mediante la optimización multi-objetivo. El diseño de edificios sustentables es inherentemente complejo debido a la interacción de factores como el clima local, las propiedades de la envolvente y el comportamiento del usuario. Tradicionalmente, las simulaciones detalladas de desempeño térmico o lumínico han sido costosas en términos computacionales y de tiempo. Sin embargo, la literatura reciente destaca el uso de modelos subrogados (surrogate models) basados en Machine Learning, los cuales permiten aproximar el comportamiento de simulaciones complejas a una fracción del costo temporal (Cruz et al., 2024; Mihalakakou et al., 2025). Esta capacidad facilita la exploración de espacios de diseño masivos para encontrar soluciones óptimas que equilibren funciones a menudo contrapuestas, como el confort térmico, la eficiencia energética y el costo de ciclo de vida (Cruz et al., 2024).

El enfoque de la eficiencia energética ha evolucionado de análisis estáticos hacia modelos dinámicos de ciclo de vida. El aprendizaje automático se aplica ahora en todas las fases del ciclo edilicio, desde la concepción y la construcción hasta la operación y el retrofit (Kaya et al., 2025). En este contexto, algoritmos como las Redes Neuronales Artificiales y las Máquinas de Soporte de Vectores se han consolidado como herramientas robustas para predecir el consumo de energía y las condiciones de confort, superando las limitaciones de los métodos estadísticos tradicionales (Ahmed et al., 2026; Kaya et al., 2025). Asimismo, el acoplamiento de técnicas de simulación con algoritmos metaheurísticos, como los algoritmos genéticos y la optimización por enjambre de partículas, permite reducir sustancialmente tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como los costos operativos (Mihalakakou et al., 2025).

En el ámbito de la gestión energética operativa, la Inteligencia Artificial (IA) juega un papel revolucionario en el control en tiempo real. Tecnologías como las Redes Neuronales Transformer, que utilizan mecanismos de auto-atención para capturar dependencias temporales complejas en los datos de sensores, han demostrado ser altamente efectivas para el pronóstico de carga a corto y mediano plazo (Ahmed et al., 2026). Estos sistemas integrados pueden lograr reducciones de hasta un 50% en la utilización de energía, optimizando sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) sin sacrificar el bienestar del ocupante (Ahmed et al., 2026; Qiu et

al., 2025). La convergencia de estos modelos con el Internet de las Cosas (IoT) y las redes inteligentes (smart grids) permite que los edificios dejen de ser consumidores pasivos para convertirse en participantes activos y flexibles en la red eléctrica (Bibri & Huang, 2025).

La envolvente del edificio, como mediadora fundamental entre el interior y el exterior, es otro foco de innovación tecnológica disruptiva. Las envolventes adaptativas y las fachadas inteligentes, que integran sistemas fotovoltaicos, sistemas de doble piel y materiales avanzados como aerogeles, vidrios electrocrómicos o termocrómicos, tienen el potencial de reducir las cargas térmicas de forma dinámica (Tahmasbi et al., 2025). Complementariamente, el uso de materiales de cambio de fase (PCM) y tecnologías de enfriamiento radiativo pasivo contribuyen a estabilizar las temperaturas internas, permitiendo ahorros energéticos significativos y facilitando el camino hacia los edificios de energía cero (Qiu et al., 2025; Tahmasbi et al., 2025). Incluso elementos de infraestructura verde, como los techos verdes, están siendo optimizados mediante modelos de aprendizaje profundo para maximizar no solo el ahorro energético, sino también la retención de agua de lluvia y la biodiversidad urbana (Mihalakakou et al., 2026).

La sostenibilidad del ambiente construido exige también una transición ineludible hacia la economía circular. Tecnologías de la Industria 4.0 introducen el concepto de "Edificios como Bancos de Materiales" (BAMB), donde el Modelado de Información de Construcción (BIM) se utiliza para rastrear y gestionar los componentes edilicios a lo largo de su vida útil (Oliveira et al., 2026). La integración de Blockchain y Pasaportes de Materiales asegura la trazabilidad y facilita la reutilización y el reciclaje al final de la vida útil, minimizando los residuos de construcción y demolición (Oliveira et al., 2026). Además, se han desarrollado sistemas robóticos operados por Deep Learning para la clasificación de residuos con una pureza promedio del 97%, haciendo viable económicamente la recuperación de recursos en la industria (Oliveira et al., 2026).

En una escala urbana y sistémica, el uso de Gemelos Digitales (Digital Twins) emerge como una herramienta poderosa. Estas réplicas virtuales permiten la monitorización predictiva del carbono y la optimización del entorno construido dentro del marco de las ciudades inteligentes (Bibri & Huang, 2025). Los Gemelos Digitales facilitan la creación de distritos de energía positiva y refuerzan la resiliencia ante desastres climáticos mediante el análisis de Big Data y simulaciones de escenarios futuros (Bibri & Huang, 2025). La resiliencia, de hecho, se ha vuelto un pilar central del diseño contemporáneo; las herramientas de diseño paramétrico y generativo deben integrar no solo métricas técnicas, sino también perspectivas de identidad cultural y necesidades sociales para asegurar que las viviendas sean equitativas y coherentes con su contexto (Kumar et al., 2026).

A pesar de estas promesas, persisten desafíos significativos para la adopción masiva de estas tecnologías. Los altos costos iniciales de inversión y la falta de marcos regulatorios estandarizados siguen siendo barreras críticas (Manzoor et al.,

2025). Asimismo, existe una necesidad imperativa de mayor transparencia y ética en el manejo de datos; la comunidad investigadora debe promover la disponibilidad de códigos y bases de datos abiertos para evitar los sesgos en los modelos de IA y asegurar la replicabilidad de los hallazgos científicos (Cruz et al., 2024; Oliveira et al., 2026).

En conclusión, la integración de IA, Machine Learning, Digital Twins y procesos avanzados de simulación no es simplemente una opción de vanguardia, sino una necesidad para crear un hábitat verdaderamente sustentable. Estas tecnologías proporcionan las herramientas necesarias para transitar de una construcción fragmentada a una gestión holística, circular y resiliente del ambiente construido. Invitamos a la comunidad científica a continuar explorando estas fronteras tecnológicas, manteniendo siempre el rigor científico y el compromiso ético que la crisis ambiental global nos demanda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu Jadayil, W., Alkhedher, M., Shwaheen, G., & Ramadan, M. (2026). Sustainable and efficient use of integrated technology solutions in energy management. *Energy Reports*, 15, 109319. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2026.109319>

Ahmed, N., Ding, Y., Canti, G., & Anglani, N. (2026). Sustainable building's energy management with artificial intelligence and machine learning: A decadal scoping review (2014–2024). *Energy Reports*, 15, 109082. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2026.109082>

Bibri, S. E., & Huang, J. (2025). Artificial intelligence and digital twins for environmentally sustainable smart buildings: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 28, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2025.100628>

Cruz, A. S., Caldas, L. R., Mendes, V. M., Mendes, J. C., & Bastos, L. E. G. (2024). Multi-objective optimization based on surrogate models for sustainable building design: A systematic literature review. *Building and Environment*, 266, 112147. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112147>

Kaya, G. N., Beyhan, F., Ilerisoy, Z. Y., & Cudzik, J. (2025). Evaluation of machine learning applications in building life cycle processes for energy efficiency: A systematic review. *Energy Reports*, 13, 4900–4916. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.04.034>

Kumar, R., Dekin, A., Prince, M., Froese, T., & Mukhopadhyaya, P. (2026). Integrated building form and structural strategies for sustainable and resilient residential buildings. *Sustainable Cities and Society: Advances*, 2, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.scsadv.2026.100075>

Manzoor, B., Antwi-Afari, M. F., & Alotaibi, K. S. (2025). Green buildings and digital technologies: A pathway to sustainable development. *Green Technologies and Sustainability*, 3, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100243>

Mihalakakou, G., Giannadakis, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Georgiou, P., Romaios, A., Antzoulidou, A., Nikolakopoulos, P., & Paravantis, J. A. (2025). Coupling simulation-based and machine learning methodologies for energy optimization and environmental impact mitigation in buildings. *Journal of Building Engineering*, 112, 113809. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.113809>

Mihalakakou, G., Romeos, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Paravantis, J. A., Georgiou, P., & Giannadakis, A. (2026). From simulation to surrogates: optimizing green roofs for sustainable urban performance. *Sustainable Cities and Society*, 145, 107439. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107439>

Oliveira, J., Schreiber, D., & Jahno, V. D. (2026). Sustainability in civil construction through industry 4.0 and BIM technologies. *Automation in Construction*, 182, 106729. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106729>

Qiu, L., Li, H., Wang, Z., Yang, Y., Lazarus, G. A., Chen, Y., & Feng, Y. (2025). Pathways to decarbonizing buildings: Harnessing energy efficiency and sustainable technologies. *Thermal Science and Engineering Progress*, 66, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103991>

Tahmasbi, F., Khdaier, A. I., Aburumman, G. A., Tahmasebi, M., Thi, N. H., & Afrand, M. (2025). Energy-efficient building façades: A comprehensive review of innovative technologies and sustainable strategies. *Journal of Building Engineering*, 99, 111643. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.111643>

EDITORIAL

TECHNOLOGICAL OUTLOOK FOR THE BUILT ENVIRONMENT'S SUSTAINABILITY: AN EDITORIAL VIEW

The architecture, engineering, and construction (AEC) industry is going through a paradigm shift driven by the critical need to mitigate climate change. Currently, the building sector is responsible for approximately 34% of global energy consumption and 37% of energy-related CO₂ emissions (Ahmed et al., 2026; Oliveira et al., 2026). Faced with this scenario, sustainability can no longer be a peripheral objective or a mere regulatory compliance requirement; it must constitute the core of design, construction, and operation, managed through emerging technologies that provide unprecedented precision and efficiency (Manzoor et al., 2025).

One of the most significant transformations occurs in the design phase through multi-objective optimization. The design of sustainable buildings is inherently complex due to interactions among factors such as the local climate, the properties of the envelope, and user behavior. Traditionally, detailed thermal or light performance simulations have been costly both computationally and time-consuming. However, recent literature highlights the use of Machine Learning-based surrogate models, which enable the approximation of complex simulations' behavior in a fraction of the time and cost (Cruz et al., 2024; Mihalakakou et al., 2025). This capability facilitates the exploration of massive design spaces to find optimal solutions that balance often-conflicting functions such as thermal comfort, energy efficiency, and life-cycle cost (Cruz et al., 2024).

The energy-efficiency approach has evolved from static analyses to dynamic life-cycle models. Machine learning is now applied in all phases of the building cycle, from conception and construction to operation and retrofit (Kaya et al., 2025). In this context, algorithms such as Artificial Neural Networks and Vector Support Machines have established themselves as robust tools for predicting energy consumption and comfort conditions, overcoming the limitations of traditional statistical methods (Ahmed et al., 2026; Kaya et al., 2025). The coupling of simulation techniques with metaheuristic algorithms, such as genetic algorithms and particle swarm optimization, also produces substantial reductions in both greenhouse gas emissions and operating costs (Mihalakakou et al., 2025).

In the field of operational energy management, Artificial Intelligence (AI) plays a revolutionary role in real-time control. Technologies such as Transformer Neural Networks, which use self-attention mechanisms to capture complex temporal dependencies in sensor data,

have proven highly effective for short- and medium-term load forecasting (Ahmed et al., 2026). These integrated systems can achieve up to 50% reductions in energy use, optimizing heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems without compromising occupant well-being (Ahmed et al., 2026; Qiu et al., 2025). The convergence of these models with the Internet of Things (IoT) and smart grids enables buildings to move from passive consumers to active, flexible participants in the electricity grid (Bibri & Huang, 2025).

The building envelope, as a fundamental mediator between interior and exterior, is another focus of disruptive technological innovation. Adaptive envelopes and smart facades, which integrate photovoltaic systems, double-skin systems, and advanced materials such as aerogels, electrochromic or thermochromic glasses, have the potential to dynamically reduce thermal loads (Tahmasbi et al., 2025). In addition, the use of phase change materials (PCMs) and passive radiative cooling technologies helps stabilize indoor temperatures, producing significant energy savings and facilitating the path to zero-energy buildings (Qiu et al., 2025; Tahmasbi et al., 2025). Even green infrastructure elements, such as green roofs, are being optimized using deep learning models to maximize not only energy savings but also rainwater retention and urban biodiversity (Mihalakakou et al., 2026).

The sustainability of the built environment also requires an inescapable transition to the circular economy. Industry 4.0 technologies introduce the concept of "Buildings as Material Banks" (BAMB), where Building Information Modeling (BIM) is used to track and manage building components throughout their useful life (Oliveira et al., 2026). The integration of Blockchain and Material Passports ensures traceability and facilitates reuse and recycling at the end of the useful life, minimizing construction and demolition waste (Oliveira et al., 2026). In addition, robotic systems powered by Deep Learning have been developed to classify waste with an average purity of 97%, making resource recovery in industry economically viable (Oliveira et al., 2026).

At the urban and systemic scales, Digital Twins emerge as a powerful tool. These virtual replicas allow predictive carbon monitoring and optimization of the built environment within the framework of smart cities (Bibri & Huang, 2025). Digital Twins facilitate the creation of positive energy districts and strengthen resilience to climate disasters through Big Data analysis and simulations of future scenarios (Bibri & Huang, 2025). Resilience, in fact, has become a central pillar of contemporary design; parametric and generative design

tools must integrate not only technical metrics but also cultural identity perspectives and social needs to ensure that housing is equitable and coherent with its context (Kumar et al., 2026).

Despite these promises, significant challenges remain for the mass adoption of these technologies. High initial investment costs and lack of standardized regulatory frameworks remain critical barriers (Manzoor et al., 2025). There is also an urgent need for greater transparency and ethical practices in data management; the research community must promote the availability of open-source code and datasets to avoid biases in AI models and ensure the replicability of scientific findings (Cruz et al., 2024; Oliveira et al., 2026).

In conclusion, the integration of AI, Machine Learning, Digital Twins, and advanced simulation processes is not simply a cutting-edge option but a necessity for creating a truly sustainable habitat. These technologies provide the necessary tools to move from a fragmented construction to a holistic, circular, and resilient management of the built environment. We invite the scientific community to continue exploring these technological frontiers, always maintaining the scientific rigor and ethical commitment that the global environmental crisis demands of us.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Abu Jadayil, W., Alkhedher, M., Shwaheen, G., & Ramadan, M. (2026). Sustainable and efficient use of integrated technology solutions in energy management. *Energy Reports*, 15, 109319. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2026.109319>

Ahmed, N., Ding, Y., Canti, G., & Anglani, N. (2026). Sustainable building's energy management with artificial intelligence and machine learning: A decadal scoping review (2014–2024). *Energy Reports*, 15, 109082. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2026.109082>

Bibri, S. E., & Huang, J. (2025). Artificial intelligence and digital twins for environmentally sustainable smart buildings: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 28, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.esse.2025.100628>

Cruz, A. S., Caldas, L. R., Mendes, V. M., Mendes, J. C., & Bastos, L. E. G. (2024). Multi-objective optimization based on surrogate models for sustainable building design: A systematic literature review. *Building and Environment*, 266, 112147. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112147>

Kaya, G. N., Beyhan, F., Ilerisoy, Z. Y., & Cudzik, J. (2025). Evaluation of machine learning applications in building life cycle processes for energy efficiency: A systematic review. *Energy Reports*, 13, 4900–4916. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.04.034>

Kumar, R., Dekin, A., Prince, M., Froese, T., & Mukhopadhyaya, P. (2026). Integrated building form and structural strategies for sustainable and resilient residential buildings. *Sustainable Cities and Society: Advances*, 2, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.scsadv.2026.100075>

Manzoor, B., Antwi-Afari, M. F., & Alotaibi, K. S. (2025). Green buildings and digital technologies: A pathway to sustainable development. *Green Technologies and Sustainability*, 3, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100243>

Mihalakakou, G., Giannadakis, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Georgiou, P., Romaios, A., Antzoulitou, A., Nikolakopoulos, P., & Paravantis, J. A. (2025). Coupling simulation-based and machine learning methodologies for energy optimization and environmental impact mitigation in buildings. *Journal of Building Engineering*, 112, 113809. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113809>

Mihalakakou, G., Romeos, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Paravantis, J. A., Georgiou, P., & Giannadakis, A. (2026). From simulation to surrogates: optimizing green roofs for sustainable urban performance. *Sustainable Cities and Society*, 145, 107439. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107439>

Oliveira, J., Schreiber, D., & Jahno, V. D. (2026). Sustainability in civil construction through industry 4.0 and BIM technologies. *Automation in Construction*, 182, 106729. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106729>

Qiu, L., Li, H., Wang, Z., Yang, Y., Lazarus, G. A., Chen, Y., & Feng, Y. (2025). Pathways to decarbonizing buildings: Harnessing energy efficiency and sustainable technologies. *Thermal Science and Engineering Progress*, 66, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103991>

Tahmasbi, F., Khdaier, A. I., Aburumman, G. A., Tahmasebi, M., Thi, N. H., & Afrand, M. (2025). Energy-efficient building façades: A comprehensive review of innovative technologies and sustainable strategies. *Journal of Building Engineering*, 99, 111643. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111643>

EDITORIAL

PANORAMA TECNOLÓGICO PARA A SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: UMA VISÃO EDITORIAL

A indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) atravessa uma mudança de paradigma impulsionada pela necessidade crítica de mitigar as mudanças climáticas. Atualmente, o setor da edificação é responsável por aproximadamente 34% do consumo global de energia e por 37% das emissões de CO₂ associadas à energia (Ahmed et al., 2026; Oliveira et al., 2026). Diante desse cenário, a sustentabilidade já não pode ser um objetivo periférico ou um mero cumprimento normativo; ela deve constituir o núcleo do projeto, da construção e da operação, sendo gerida por meio de tecnologias emergentes que proporcionem precisão e eficiência sem precedentes (Manzoor et al., 2025).

Uma das transformações mais significativas ocorre na fase de projeto, por meio da otimização multiobjetivo. O projeto de edifícios sustentáveis é inerentemente complexo devido à interação entre fatores como o clima local, as propriedades da envoltória e o comportamento do usuário. Tradicionalmente, as simulações detalhadas de desempenho térmico ou lumínico têm sido dispendiosas em termos computacionais e de tempo. Contudo, a literatura recente destaca o uso de modelos substitutos (*surrogate models*) baseados em *Machine Learning*, que permitem aproximar o comportamento de simulações complexas a uma fração do custo temporal (Cruz et al., 2024; Mihalakakou et al., 2025). Essa capacidade facilita a exploração de espaços de projeto em larga escala, em busca de soluções ideais que equilibrem funções muitas vezes contrapostas, como o conforto térmico, a eficiência energética e o custo do ciclo de vida (Cruz et al., 2024).

A abordagem da eficiência energética evoluiu das análises estáticas para modelos dinâmicos de ciclo de vida. O aprendizado de máquina é atualmente aplicado em todas as fases do ciclo edilício, desde a concepção e a construção até a operação e o *retrofit* (Kaya et al., 2025). Nesse contexto, algoritmos como as Redes Neurais Artificiais e as Máquinas de Vetores de Suporte consolidaram-se como ferramentas robustas para prever o consumo de energia e as condições de conforto, superando as limitações dos métodos estatísticos tradicionais (Ahmed et al., 2026; Kaya et al., 2025). Da mesma forma, o acoplamento de técnicas de simulação a algoritmos meta-heurísticos, como os algoritmos genéticos e a otimização por enxame de partículas, permite reduzir substancialmente tanto as emissões de gases de efeito estufa quanto os custos operacionais (Mihalakakou et al., 2025).

No âmbito da gestão energética operacional, a Inteligência Artificial (IA) desempenha um papel revolucionário no controle em tempo real. Tecnologias como as Redes Neurais *Transformer*, que utilizam mecanismos de autoatenção para capturar dependências temporais complexas nos dados de sensores, mostraram-se altamente eficazes para a previsão de carga de curto e médio prazo (Ahmed et al., 2026). Esses sistemas integrados podem alcançar reduções de até 50% no consumo de energia, otimizando os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) sem sacrificar o bem-estar dos ocupantes (Ahmed et al., 2026; Qiu et al., 2025). A convergência desses

modelos com a Internet das Coisas (IoT) e as redes inteligentes (*smart grids*) permite que os edifícios deixem de ser consumidores passivos e se tornem participantes ativos e flexíveis na rede elétrica (Bibri & Huang, 2025).

A envoltória do edifício, como mediadora fundamental entre o interior e o exterior, é outro foco de inovação tecnológica disruptiva. As envoltórias adaptativas e as fachadas inteligentes, que integram sistemas fotovoltaicos, sistemas de dupla pele e materiais avançados, como aerogéis, vidros eletrocromáticos ou termocromáticos, têm potencial para reduzir as cargas térmicas de forma dinâmica (Tahmasbi et al., 2025). De modo complementar, o uso de materiais de mudança de fase (PCM) e de tecnologias de resfriamento radiativo passivo contribui para estabilizar as temperaturas internas, permitindo economias energéticas significativas e facilitando o caminho rumo aos edifícios de energia zero (Qiu et al., 2025; Tahmasbi et al., 2025). Até mesmo elementos de infraestrutura verde, como os telhados verdes, vêm sendo otimizados por meio de modelos de aprendizado profundo para maximizar não apenas a economia energética, mas também a retenção de águas pluviais e a biodiversidade urbana (Mihalakakou et al., 2026).

A sustentabilidade do ambiente construído exige também uma transição incontornável rumo à economia circular. Tecnologias da Indústria 4.0 introduzem o conceito de “Edifícios como Bancos de Materiais” (BAMB), no qual a Modelagem da Informação da Construção (BIM) é utilizada para rastrear e gerir os componentes edilícios ao longo de sua vida útil (Oliveira et al., 2026). A integração de *Blockchain* e Passaportes de Materiais assegura a rastreabilidade e facilita a reutilização e a reciclagem ao final da vida útil, minimizando os resíduos de construção e demolição (Oliveira et al., 2026). Além disso, foram desenvolvidos sistemas robóticos operados por *Deep Learning* para a triagem de resíduos, com uma pureza média de 97%, tornando economicamente viável a recuperação de recursos na indústria (Oliveira et al., 2026).

Em uma escala urbana e sistêmica, o uso de Gêmeos Digitais (*Digital Twins*) desponta como uma ferramenta poderosa. Essas réplicas virtuais permitem o monitoramento preditivo do carbono e a otimização do ambiente construído no âmbito das cidades inteligentes (Bibri & Huang, 2025). Os Gêmeos Digitais facilitam a criação de distritos de energia positiva e reforçam a resiliência frente a desastres climáticos por meio da análise de *Big Data* e de simulações de cenários futuros (Bibri & Huang, 2025). A resiliência, de fato, tornou-se um pilar central do projeto contemporâneo; as ferramentas de projeto paramétrico e generativo devem integrar não apenas métricas técnicas, mas também perspectivas de identidade cultural e necessidades sociais, a fim de assegurar que as habitações sejam equitativas e coerentes com seu contexto (Kumar et al., 2026).

Apesar dessas promessas, persistem desafios significativos para a adoção em larga escala dessas tecnologias. Os altos custos iniciais de investimento e a ausência de marcos regulatórios padronizados continuam sendo barreiras críticas (Manzoor et al., 2025). Da mesma forma, há uma necessidade imperativa de maior transparência e ética no tratamento de dados; a comunidade científica deve promover a disponibilização de códigos e bases de dados abertos, a fim de evitar vieses nos modelos de IA e assegurar a replicabilidade dos achados científicos (Cruz et al., 2024; Oliveira et al., 2026).

Em conclusão, a integração de IA, *Machine Learning*, *Digital Twins* e processos avançados de simulação não é apenas uma opção de vanguarda, mas uma necessidade para criar um habitat verdadeiramente sustentável. Essas tecnologias fornecem as ferramentas necessárias para transitar de uma construção fragmentada para uma gestão holística, circular e resiliente do ambiente construído. Convidamos a comunidade científica a continuar explorando essas fronteiras tecnológicas, mantendo sempre o rigor científico e o compromisso ético que a crise ambiental global nos exige.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu Jadayil, W., Alkhedher, M., Shwaheen, G., & Ramadan, M. (2026). Sustainable and efficient use of integrated technology solutions in energy management. *Energy Reports*, 15, 109319. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2026.109319>
- Ahmed, N., Ding, Y., Canti, G., & Anglani, N. (2026). Sustainable building's energy management with artificial intelligence and machine learning: A decadal scoping review (2014–2024). *Energy Reports*, 15, 109082. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2026.109082>
- Bibri, S. E., & Huang, J. (2025). Artificial intelligence and digital twins for environmentally sustainable smart buildings: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 28, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.es.2025.100628>
- Cruz, A. S., Caldas, L. R., Mendes, V. M., Mendes, J. C., & Bastos, L. E. G. (2024). Multi-objective optimization based on surrogate models for sustainable building design: A systematic literature review. *Building and Environment*, 266, 112147. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112147>
- Kaya, G. N., Beyhan, F., Ilerisoy, Z. Y., & Cudzik, J. (2025). Evaluation of machine learning applications in building life cycle processes for energy efficiency: A systematic review. *Energy Reports*, 13, 4900–4916. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.04.034>
- Kumar, R., Degin, A., Prince, M., Froese, T., & Mukhopadhyaya, P. (2026). Integrated building form and structural strategies for sustainable and resilient residential buildings. *Sustainable Cities and Society: Advances*, 2, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.scsadv.2026.100075>
- Manzoor, B., Antwi-Afari, M. F., & Alotaibi, K. S. (2025). Green buildings and digital technologies: A pathway to sustainable development. *Green Technologies and Sustainability*, 3, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100243>
- Mihalakakou, G., Giannadakis, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Georgiou, P., Romaios, A., Antzoulou, A., Nikolakopoulos, P., & Paravantis, J. A. (2025). Coupling simulation-based and machine learning methodologies for energy optimization and environmental impact mitigation in buildings. *Journal of Building Engineering*, 112, 113809. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.113809>
- Mihalakakou, G., Romeos, A., Malefaki, S., Souliotis, M., Paravantis, J. A., Georgiou, P., & Giannadakis, A. (2026). From simulation to surrogates: optimizing green roofs for sustainable urban performance. *Sustainable Cities and Society*, 145, 107439. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107439>
- Oliveira, J., Schreiber, D., & Jahno, V. D. (2026). Sustainability in civil construction through industry 4.0 and BIM technologies. *Automation in Construction*, 182, 106729. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106729>
- Qiu, L., Li, H., Wang, Z., Yang, Y., Lazarus, G. A., Chen, Y., & Feng, Y. (2025). Pathways to decarbonizing buildings: Harnessing energy efficiency and sustainable technologies. *Thermal Science and Engineering Progress*, 66, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103991>
- Tahmasbi, F., Khdaier, A. I., Aburumman, G. A., Tahmasebi, M., Thi, N. H., & Afrand, M. (2025). Energy-efficient building façades: A comprehensive review of innovative technologies and sustainable strategies. *Journal of Building Engineering*, 99, 111643. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.111643>

Maureen Trebilcock-Kelly
Doctora en Arquitectura Sustentable
Editora Responsable Hábitat Sustentable, Profesora Titular,
Departamento Diseño y Teoría de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-1984-0259>
mtrebilc@ubiobio.cl



Rafael Eduardo López-Guerrero
Doctorado en Ciencias de la Ingeniería
Co-Editor Hábitat Sustentable, Profesor Asistente,
Departamento de Ciencias de la Construcción, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño,
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-5941-0421>
rlopez@ubiobio.cl

