

Artículo Científico

Evaluación posocupacional integrada con sensores mejora bienestar y eficiencia energética residencial

Integrated post-occupancy evaluation with sensors improves residential well-being and energy efficiency



Barahona-Carranza, Edison Javier ¹



<https://orcid.org/0009-0003-2867-0727>



edisonbarahona.arq@gmail.com



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/133>

Resumen: La vivienda contemporánea debe asegurar el bienestar de sus ocupantes y, a la vez, reducir consumos y emisiones, pero persiste una brecha entre el desempeño esperado y el observado por la heterogeneidad metodológica y la falta de monitoreo continuo e integración entre mediciones objetivas y percepción del usuario; por ello, este artículo revisa el estado del arte de la evaluación posocupacional integrada con sensores en el ámbito residencial. Métodos: se realizó una revisión bibliográfica exploratoria con protocolo a priori, búsqueda en bases de datos de arquitectura e ingeniería, horizonte 2000–2025, criterios de inclusión centrados en viviendas ocupadas que combinan sensores del ambiente interior o energía con instrumentos posocupacionales, y síntesis descriptiva y temática con evaluación de calidad. Resultados: la evidencia muestra que el monitoreo continuo multivariable permite detectar episodios y causas de discomfort, cuantificar la brecha de desempeño y orientar medidas operativas y de aprendizaje del usuario; además, los enfoques centrados en el ocupante y la convergencia entre datos objetivos y subjetivos mejoran la comparabilidad y la toma de decisiones, aunque la escalabilidad exige atender privacidad, interoperabilidad y garantía metrológica. Conclusiones: la evaluación posocupacional instrumentada puede mejorar simultáneamente bienestar y eficiencia energética si se estandarizan protocolos y se fortalece la gobernanza de datos para aplicaciones residenciales replicables.

Palabras clave: evaluación posocupacional; sensores ambientales; bienestar residencial; eficiencia energética; privacidad de datos.



Check for updates

Received: 23/Dic/2025

Accepted: 04/Ene/2026

Published: 22/Ene/2026

Cita: Barahona-Carranza, E. J. (2026). Evaluación posocupacional integrada con sensores mejora bienestar y eficiencia energética residencial. *Revista Científica Ciencia y Método*, 4(1), 77-90. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/133>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)

<https://revistacym.com>

revistacym@editorialgrupo-aea.com

info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons. Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Contemporary housing must ensure the well-being of its occupants while reducing consumption and emissions, but there remains a gap between expected and observed performance due to methodological heterogeneity and the lack of continuous monitoring and integration between objective measurements and user perception. Therefore, this article reviews the state of the art of integrated post-occupancy evaluation with sensors in the residential setting. Methods: An exploratory literature review was conducted using an a priori protocol, searching architecture and engineering databases from 2000 to 2025, with inclusion criteria focused on occupied dwellings that combine indoor environment or energy sensors with post-occupancy instruments, and descriptive and thematic synthesis with quality assessment. Results: The evidence shows that continuous multivariable monitoring allows for the detection of episodes and causes of discomfort, the quantification of the performance gap, and the guidance of operational and user learning measures. In addition, occupant-centered approaches and the convergence of objective and subjective data improve comparability and decision-making, although scalability requires attention to privacy, interoperability, and metrological assurance. Conclusions: Instrumented post-occupancy evaluation can simultaneously improve well-being and energy efficiency if protocols are standardized and data governance is strengthened for replicable residential applications.

Keywords: post-occupancy evaluation; environmental sensors; residential well-being; energy efficiency; data privacy.

1. Introducción

La vivienda contemporánea enfrenta el doble desafío de asegurar el bienestar de sus ocupantes y, simultáneamente, reducir consumos y emisiones a lo largo del ciclo de vida. En este marco, la evaluación posocupacional (POE, por sus siglas en inglés) complementada con redes de sensores que registran de manera continua la calidad del ambiente interior (IEQ: aire, confort térmico, luz y acústica) ofrece una vía robusta para diagnosticar y mejorar el desempeño residencial real, más allá de lo previsto en el diseño. Diversas revisiones recientes evidencian que la IEQ incide de forma directa en salud y confort, y que las viviendas han sido menos estudiadas que edificios de oficinas, a pesar de albergar a poblaciones vulnerables (niños, mayores, gestantes, personas con discapacidad) con necesidades diferenciadas de calidad ambiental (Hernández-Martín et al., 2025).

Sin embargo, el campo de la POE residencial adolece de heterogeneidad metodológica y escasa comparabilidad entre estudios por el uso dispar de instrumentos, escalas y reportes lo que dificulta traducir hallazgos en guías replicables para la práctica (Elsayed et al., 2023). A ello se suma que las aproximaciones

tradicionales dependen de encuestas puntuales y mediciones de corta duración, incapaces de capturar variaciones espaciotemporales y la interacción fina entre ocupantes y sistemas. Los avances recientes en IoT permiten redes sensoras multivariable (temperatura del aire y radiante, humedad, velocidad del aire, CO₂, partículas, iluminancia y ruido) desplegadas a bajo costo y con alta frecuencia de muestreo, integrables con plataformas web para recabar simultáneamente percepciones subjetivas; esta combinación habilita diagnósticos más precisos y respuestas operativas centradas en las personas (Tsang et al., 2024).

El problema que esta revisión aborda, por tanto, se define como la brecha entre el desempeño energético y de bienestar esperado y el efectivamente observado en viviendas, derivada de (i) la falta de estandarización de la POE, (ii) la baja cobertura de monitoreo continuo, (iii) la complejidad del comportamiento de los hogares y su interfaz con los sistemas, y (iv) la insuficiente integración de datos objetivos (sensores) y subjetivos (satisfacción, síntomas, prácticas de uso). En Europa y otras regiones, se ha documentado una “inconsistencia” persistente en métodos y datos de POE residencial, lo que limita la generalización de resultados (Elsayed et al., 2023). A nivel de usuario, estudios con inquilinos de vivienda colectiva muestran dificultades para relacionar IEQ con consumo energético y la necesidad de interfaces comprensibles que faciliten decisiones cotidianas coherentes con la eficiencia (Pedersen et al., 2021).

Entre los factores y afectaciones que agravan el problema destacan: la variabilidad climática y de ocupación, que introduce sesgos si no se mide de forma continua; la privacidad y gobernanza de datos, cruciales en entornos residenciales; y la sensibilidad diferencial de grupos vulnerables, para quienes condiciones subóptimas pueden traducirse en impactos desproporcionados en salud y bienestar (Hernández-Martín et al., 2025). Desde una perspectiva tecnológica, aunque los controles “ocupante-céntricos” (OCC) demuestran potencial para alinear confort y ahorro, las implementaciones reales siguen siendo limitadas y fragmentarias, lo que refuerza la necesidad de marcos metodológicos reproducibles basados en POE instrumentada (Park et al., 2019; Yuan et al., 2024).

La justificación de esta revisión es doble. En primer lugar, existe evidencia de que integrar mediciones sensoras con retroalimentación de usuarios permite identificar fuentes de discomfort, ajustar consignas y, en última instancia, mejorar simultáneamente IEQ y consumo (Tsang et al., 2024). En segundo lugar, casos de campo con sensores de presencia y control térmico ocupante-céntrico muestran ahorros medidos en climatización del orden de 15–24% sin inversiones invasivas, lo que sugiere una alta viabilidad para el parque residencial existente (Pang et al., 2023). La madurez de ecosistemas digitales facilita, además, la integración de datos de sensores, encuestas y modelos BIM en gemelos digitales espaciales (BIM-IoT-GIS), optimizando análisis multi-objetivo (bienestar-energía) y la toma de decisiones de operación o rehabilitación (Tripathi et al., 2023).

La viabilidad técnica y operativa se sustenta en tres vectores: (a) disponibilidad de sensores de bajo costo y plataformas en la nube capaces de muestreo denso y transmisión segura; (b) marcos de control y modelado ocupante-céntrico que permiten traducir la POE instrumentada en estrategias de operación y retrofit sensibles al contexto; y (c) herramientas de integración y visualización (gemelos digitales) que reducen las barreras para actores no técnicos y habilitan ciclos de mejora continua (Park et al., 2019; Yuan et al., 2024; Tripathi et al., 2023).

Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo de revisión es sistematizar el estado del arte de la evaluación posocupacional integrada con sensores en el ámbito residencial, analizando cómo la convergencia entre datos objetivos de IEQ y evidencia subjetiva de bienestar puede cerrar la brecha entre desempeño previsto y real, y contribuir a la eficiencia energética sin sacrificar el confort. En particular, se busca (i) cartografiar métodos, métricas y marcos de reporte empleados; (ii) examinar evidencias de impacto en salud-bienestar y en ahorro energético atribuible a POE instrumentada; (iii) identificar barreras técnicas, éticas y de gobernanza y oportunidades de escalamiento (p. ej., OCC y gemelos digitales); y (iv) proponer lineamientos metodológicos para estudios y prácticas de arquitectura residencial que aspiren a conjugar bienestar habitacional y eficiencia energética de forma verificable y replicable (Elsayed et al., 2023; Park et al., 2019; Pang et al., 2023).

2. Materiales y métodos

Este estudio adopta un enfoque exploratorio de revisión bibliográfica para mapear, caracterizar y sintetizar la evidencia disponible sobre la evaluación posocupacional integrada con sensores en el ámbito residencial, con foco simultáneo en bienestar de los ocupantes y eficiencia energética. El protocolo se definió a priori y orientó todas las fases: formulación de preguntas, definición de criterios de elegibilidad, diseño de la estrategia de búsqueda, cribado por pares, extracción estandarizada de datos, evaluación de calidad metodológica y síntesis. La pregunta directriz fue: “¿Cómo, con qué instrumentos y con qué resultados se ha implementado la evaluación posocupacional instrumentada con sensores en viviendas ocupadas para mejorar bienestar y eficiencia energética?” Se establecieron subpreguntas sobre (i) métricas de calidad ambiental interior monitorizadas, (ii) tipos de sensores y diseño del despliegue (frecuencia de muestreo, ubicación, calibración), (iii) formas de integración de datos objetivos y percepciones de usuarios, (iv) efectos reportados en confort, salud percibida y consumo energético, y (v) barreras/ facilitadores técnicos, éticos y operativos.

La búsqueda se ejecutó en bases de datos bibliográficas de alta cobertura en Arquitectura e Ingeniería (Scopus y Web of Science Core Collection) complementadas con verificaciones cruzadas en repositorios editoriales y listas de referencias de artículos clave para identificar estudios adicionales relevantes. El horizonte temporal abarcó desde enero de 2000 hasta diciembre de 2025, considerando el auge del IoT

de bajo costo y la consolidación de metodologías de evaluación posocupacional a partir de la década de 2000. Se incluyeron publicaciones en español, inglés y portugués, sin restricción geográfica. La estrategia combinó vocabulario controlado y términos libres en títulos, resúmenes y palabras clave, empleando operadores booleanos, truncamientos y anidamientos. Un ejemplo representativo de cadena fue: (“post-occupancy evaluation” OR “post occupancy” OR POE OR “evaluación posocupacional”) AND (sensor* OR IoT OR “wireless” OR “data logger” OR “monitorización continua”) AND (residential OR housing OR apartment* OR dwelling* OR vivienda*) AND (“indoor environmental quality” OR IEQ OR “thermal comfort” OR “air quality” OR CO2 OR PM2.5 OR “illuminance” OR noise) AND (energy OR HVAC OR “energy efficiency” OR “energy use”). Se añadieron sinónimos específicos por subtemas (p. ej., “occupant-centric control”, “digital twin”, “retrofit”, “behaviour”) para captar variabilidad terminológica.

Los criterios de inclusión exigieron: (a) estudios empíricos en viviendas ocupadas (unifamiliares o multifamiliares) que combinaran, al menos, medición por sensores de variables de ambiente interior o uso energético con evidencia posocupacional de los usuarios (encuestas, diarios, entrevistas, aplicaciones in situ), (b) artículos en revistas indexadas o actas de congreso con revisión por pares y texto completo, (c) reportes que presentaran resultados cuantitativos y/o cualitativos vinculados a bienestar/IEQ o consumo energético. Se excluyeron: (a) estudios puramente simulados o de laboratorio sin ocupación real, (b) investigaciones centradas exclusivamente en edificios no residenciales, (c) documentos de opinión, notas técnicas, resúmenes sin desarrollo, tesis no publicadas y literatura gris no indexada, (d) artículos que monitorizaran solo consumo energético sin medir ni considerar experiencia de los ocupantes, y (e) trabajos que evaluaran percepción sin ninguna medición objetiva mediante sensores.

El proceso de cribado se realizó en dos etapas independientes por dos revisores: primero, por títulos y resúmenes; luego, por texto completo. Las discrepancias se resolvieron por consenso y, de persistir, mediante la intervención de una tercera persona. Los registros se gestionaron con un software de referencias para eliminar duplicados y un gestor de cribado colaborativo que permitió ciego entre revisores. Se documentó el flujo de selección (identificación, cribado, elegibilidad e inclusión) con un diagrama estilo PRISMA adaptado a revisiones exploratorias.

Para la extracción de datos se elaboró una plantilla estandarizada y pilotada previamente, que recopiló: país/ciudad y zona climática; tipología residencial; características de la muestra (número de viviendas y de ocupantes, grupos vulnerables, perfil sociodemográfico); diseño del estudio (transversal, longitudinal, antes-después, ensayo cuasi-experimental); duración y estacionalidad; variables de IEQ monitorizadas (temperatura del aire y radiante, humedad relativa, velocidad del aire, CO₂, PM2.5/PM10, COV, iluminancia, ruido); especificación de sensores (tipo, precisión reportada, calibración, tasa de muestreo, ubicación y densidad); integración con datos subjetivos (tipo de instrumento, escalas, frecuencia, vías de captura);

métricas energéticas (consumo total, desagregación HVAC, kWh/m², potencia pico, horarios); estrategias de control o retrocomunicación al usuario; resultados principales y secundarios; y consideraciones de privacidad, seguridad de datos y aceptación del usuario. Cuando fue posible, se extrajeron medidas de efecto o diferencias pre–post (p. ej., variaciones en horas fuera de rango de confort, reducción de CO₂ o de uso HVAC) y su incertidumbre asociada.

La evaluación de la calidad metodológica se efectuó por pares con instrumentos adecuados al tipo de estudio (observacionales o cuasi-experimentales), considerando dominios como selección y representatividad de la muestra, integridad del seguimiento, validez de las mediciones sensoras, control de factores de confusión (p. ej., clima, densidad de ocupación, hábitos), transparencia del protocolo y exhaustividad del reporte. Cada estudio recibió una calificación global (bajo, medio, alto riesgo de sesgo) y se registraron las razones. Se planificaron análisis de sensibilidad excluyendo estudios con alto riesgo de sesgo para verificar la robustez de los patrones encontrados.

La síntesis de la evidencia combinó métodos cuantitativos descriptivos y síntesis narrativa temática. Se elaboraron tablas comparativas de métodos, sensores y métricas; mapas de calor de variables monitorizadas por región y tipología; y, cuando hubo datos suficientes y comparables (≥ 5 estudios con métricas homogéneas), se contempló el cálculo de tamaños de efecto estandarizados y metaanálisis exploratorios de efectos aleatorios. En caso de alta heterogeneidad conceptual o estadística, se privilegió la agregación cualitativa mediante codificación temática (p. ej., diseño del despliegue sensor, integración ocupante-centro, impacto en confort, impacto en energía, barreras/privacidad). Se documentaron explícitamente las lagunas de investigación, sesgos de publicación potenciales y la consistencia de resultados entre contextos climáticos y socioeconómicos.

Finalmente, para asegurar transparencia y reproducibilidad, se conservaron las cadenas de búsqueda, la plantilla de extracción y la base de datos depurada de referencias y variables en un repositorio interno; se prevé su disponibilidad bajo solicitud académica razonable. Dado que la revisión utiliza datos secundarios publicados, no se requirió aprobación ética; no obstante, se registraron prácticas de protección de datos cuando los estudios primarios las reportaron, a fin de informar recomendaciones aplicables a entornos residenciales reales.

3. Resultados

3.1. Impacto de la evaluación posocupacional instrumentada con sensores en viviendas

La evaluación posocupacional (EPO) apoyada en instrumentación ambiental continua representa un giro metodológico en arquitectura residencial: permite capturar, con alta resolución temporal, la relación entre condiciones interiores reales, patrones de uso y

consumo energético, y la experiencia vivida por los ocupantes. En el ámbito europeo, las revisiones más recientes coinciden en que la EPO en vivienda adolece de heterogeneidad de métodos y reportes; integrar redes de sensores con protocolos de consulta a usuarios y trazabilidad de datos mejora la comparabilidad, la reproducibilidad y la capacidad de traducir hallazgos en intervenciones arquitectónicas y operativas de alto impacto (Elsayed et al., 2023).

3.1.1. Bienestar y confort interior

La instrumentación multi-parámetro temperatura, humedad relativa, CO₂, partículas, ruido e iluminancia permite caracterizar el microclima doméstico más allá de «instantáneas» normativas, identificando episodios de desconfort (p. ej., sobrecalentamiento nocturno o ventilación deficiente en invierno) y sus detonantes arquitectónicos (envolvente, orientación, ventilación natural) y conductuales (aperturas de ventana, uso de persianas, equipamientos). Estudios de campo en conjuntos residenciales instrumentados con despliegues de más de 150 sensores evidencian variaciones estacionales de apertura de ventanas, deficiencias de control horario de calefacción y temperaturas interiores superiores a las metas de confort por desconocimiento de tecnologías instaladas; estos hallazgos se traducen en medidas de retrocomisionamiento y alfabetización del usuario (Bourdeau et al., 2023). Paralelamente, plataformas de monitoreo continuo validadas a gran escala han mostrado que, aun con sensores de bajo costo, es posible clasificar de forma robusta el desempeño de calidad ambiental interior (IEQ) si se adoptan especificaciones metrológicas, calibración y diseño de muestreo adecuados (Parkinson et al., 2019a, 2019b). En síntesis, el seguimiento continuo con sensores desplaza la EPO hacia diagnósticos situados, sensibles a la variabilidad temporal y al contexto de uso, condición imprescindible para el bienestar residencial (Zapata-Mendoza et al., 2023).

3.1.2. Eficiencia energética residencial

La EPO instrumentada con sensores permite cuantificar la «brecha de desempeño» entre el diseño y la operación diaria, y vincularla con decisiones de control y hábitos de uso, habilitando estrategias de ahorro específicas. La literatura reciente reporta ensayos de campo en viviendas que integran sensores de presencia con termostatos y sub-medición de consumos para estimar ahorros reales de HVAC mediante metodologías de verificación y modelos inversos de energía; estos trabajos proponen marcos de prueba reproducibles y muestran potencial de reducción de demanda manteniendo el confort. Asimismo, revisiones críticas sobre controles «centrados en el ocupante» sintetizan lecciones de implementación y resaltan la convergencia entre algoritmos adaptativos y datos de ocupación para reducir consumo sin sacrificar confort (Nagy et al., 2023; Soleimanijavid et al., 2024). En el caso europeo, intervenciones guiadas por EPO (p. ej., ajuste fino de consignas, sombreadamiento, sellado, ventilación nocturna) priorizan soluciones pasivas y de bajo consumo para mitigar costes energéticos y mejorar el bienestar (Rego Neto et al., 2025).

3.1.3. Convergencia de datos objetivos–subjetivos

Una EPO de nueva generación articula registros objetivos (IEQ y energía) con evidencia subjetiva (satisfacción, síntomas, preferencia térmica) mediante encuestas de alta fidelidad temporal y marcos de «feedback» ocupante-edificio. Las «encuestas dirigidas» (targeted surveys) disparadas por condiciones detectadas por sensores p. ej., CO₂ elevado o desvíos térmicos optimizaron la tasa de respuesta y estrecharon la inferencia causal entre estado ambiental y percepción (Duarte Roa et al., 2020). A nivel de carteras de edificios, las lecciones de dos décadas del CBE Occupant Survey demuestran el valor de normalizar factores IEQ, escalas y «benchmarking» para interpretar satisfacción global y sus determinantes, conocimiento extrapolable a vivienda cuando se adapta al contexto doméstico (Graham, Parkinson & Schiavon, 2021). Por su parte, propuestas recientes integran sensores multi-IEQ, cuestionarios y tableros de control, calculando índices compuestos y habilitando la toma de decisiones multicriterio (Fissore et al., 2025; 2024). La digitalización de esta convergencia se acelera con gemelos digitales basados en BIM e integración semántica (ifcJSON/ontologías), lo que facilita interoperabilidad y escalabilidad de la EPO instrumentada (Chung & Shelden, 2025).

3.1.4. Viabilidad y escalabilidad

La viabilidad técnica depende de arquitecturas IoT robustas (redes, protocolos, ciberseguridad) y de una gobernanza de datos que atienda privacidad y consentimiento informado. En pilotos de edificios residenciales y mixtos, sensores LoRaWAN de bajo consumo (baterías >5 años, paso de 1 min) y agregadores MQTT han mostrado escalabilidad, integración con BMS y despliegues ágiles, reduciendo los costos operativos de monitoreo (Tanasiev et al., 2021). La estandarización semántica y el acoplamiento con BIM y ontologías (Brick, ifcOWL) sostienen ecosistemas replicables a nivel de portafolios de vivienda social o condominios (Chung & Shelden, 2025). No obstante, la aceptación social condiciona la expansión: las preocupaciones por privacidad en hogares inteligentes seguimiento de presencia, inferencias de hábitos afectan la intención de adopción, por lo que se recomiendan principios de «privacidad por diseño», minimización de datos y transparencia algorítmica. Así, la EPO instrumentada es técnica y económicamente factible si se abordan interoperabilidad, mantenimiento, calidad metrológica y ética de datos como requisitos de diseño del sistema (Lizarraga-Aguirre, 2024).

4. Discusión

La evidencia sintetizada confirma que la evaluación posocupacional (EPO) instrumentada con sensores constituye un dispositivo epistémico idóneo para reducir la brecha entre el desempeño residencial previsto y el observado en uso real; no obstante, el campo continúa aquejado por heterogeneidad metodológica en instrumentos, temporalidades de medición y reportes que disminuye la comparabilidad

y la reproducibilidad entre estudios. La estandarización de definiciones, métricas y flujos de datos debe, por tanto, asumirse como prioridad para articular recomendaciones transferibles a la práctica arquitectónica y a las políticas de vivienda (Graham et al., 2021).

En relación con bienestar y confort, los seguimientos continuos multivariable permiten captar la naturaleza dinámica y multidominio del confort doméstico temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y acústica, superando la limitación de “instantáneas” puntuales. Con protocolos de calibración y especificaciones metrológicas explícitas, incluso plataformas de bajo costo pueden ofrecer clasificación térmica y diagnósticos de calidad ambiental interior con precisión suficiente para la gestión operativa. Despliegues longitudinales en vivienda colectiva han revelado patrones de ventilación subóptimos, sobrecalentamiento estacional y carencias de control horario, hallazgos que se traducen en acciones de retrocomisionamiento y alfabetización de usuarios. Además, la combinación de monitoreo anual con consultas estacionales a los residentes favorece la identificación de conflictos térmicos recurrentes y sus detonantes arquitectónicos y conductuales, mejorando la pertinencia de las intervenciones (Fissore et al., 2024).

La eficiencia energética residencial se beneficia cuando la EPO integra señales de ocupación y de ambiente interior en estrategias de control ocupante-céntrico. La evidencia de campo reciente cuantifica ahorros significativos en climatización mediante sensores de presencia acoplados a termostatos, con estimaciones robustas basadas en verificación de ahorros y modelación inversa. A nivel de síntesis crítica, existe consenso en que estos controles son técnicamente factibles y prometedores, aunque su implantación real encara retos de interoperabilidad, verificación y resiliencia frente a la variabilidad del comportamiento. Ello sugiere un desplazamiento del paradigma de control de consignas estáticas a algoritmos adaptativos informados por presencia, preferencias y estados ambientales que debe acompañarse de criterios de evaluación ex ante y ex post comparables entre casos y contextos climáticos (Elsayed et al., 2023).

La convergencia de datos objetivos y subjetivos emerge como condición sine qua non para inferencias internas válidas. Cobran relevancia dos líneas complementarias: por un lado, las encuestas dirigidas por condiciones (activadas cuando los sensores detectan estados críticos como CO₂ elevado o desvíos térmicos), que reducen sesgos de memoria y estrechan el vínculo causal entre exposición y percepción; por otro, los sistemas integrados que co-registran IEQ y juicio del ocupante y producen índices compuestos útiles para gestores y habitantes. Sin la capa experiencial, la lectura puramente instrumental del ambiente interior corre el riesgo de sobrediagnóstico o de intervenciones que optimizan el indicador equivocado; sin la capa objetiva, la percepción aislada puede invisibilizar problemas intermitentes o latentes (Duarte Roa et al., 2020).

En términos de viabilidad y escalabilidad, el ecosistema digital actual IoT de baja potencia, plataformas en la nube, gemelos digitales basados en BIM y modelos de integración semántica ha madurado lo suficiente para instrumentar viviendas y carteras residenciales con alta resolución temporal y espacial, ligando datos ambientales a geometría y uso del espacio. Se han demostrado despliegues multianuales con centenares de sensores, estrategias de mantenimiento, verificación automática de datos y calibración prolongada, lo que respalda la replicabilidad técnica. Persisten, sin embargo, retos decisivos: gobernanza de datos y privacidad en hogares inteligentes; interoperabilidad entre fabricantes y estándares; garantía metrológica cuando se escalan redes heterogéneas; y sostenibilidad del mantenimiento en horizontes plurianuales. La adopción social exige “privacidad por diseño”, minimización de datos y transparencia algorítmica, así como mecanismos claros de consentimiento y devolución de información comprensible a los residentes (Chung & Shelden, 2025).

A la luz de los desarrollos internacionales sobre diseño y operación centrados en el ocupante, los hallazgos reafirman un cambio de enfoque: del edificio centrado en sistemas al edificio centrado en las personas a lo largo de todo el ciclo de vida. Este giro demanda integrar modelos de comportamiento, experimentación in situ y datos continuos para informar decisiones de diseño, operación y rehabilitación, sin descuidar dimensiones de equidad y diversidad en preferencias y necesidades. De esta síntesis se desprenden cuatro vectores de agenda: (i) normalización de protocolos EPO-sensor frecuencias, umbrales, ubicaciones, estimación de incertidumbre y de reportes comparables; (ii) adopción de controles ocupante-céntricos con evaluación rigurosa de impacto y riesgos en tipologías residenciales diversas; (iii) consolidación de gemelos digitales bidireccionales que no solo visualicen, sino que habiliten retroalimentación y aprendizaje organizacional; y (iv) diseño ético de datos para reforzar confianza social y sostenibilidad institucional (Figueroa-Guerra et al., 2026).

En suma, la EPO instrumentada con sensores en viviendas puede mejorar simultáneamente la calidad ambiental interior percibida y reducir consumos cuando se ancla en procedimientos metrológicamente sólidos, integra la experiencia del residente y se inserta en una infraestructura digital interoperable. Su consolidación dependerá menos de “más datos” que de “mejores datos”: trazables, interpretables y accionables, capaces de traducirse en decisiones arquitectónicas verificables y socialmente aceptables (Bourdeau et al., 2023).

5. Conclusiones

La síntesis desarrollada demuestra que la evaluación posocupacional instrumentada con sensores es una herramienta estratégica para alinear el desempeño real de la vivienda con las metas de bienestar y eficiencia energética. Al combinar mediciones continuas de la calidad ambiental interior y del uso de energía con la experiencia reportada por los residentes, se reducen las asimetrías de información que

históricamente han obstaculizado decisiones de diseño, operación y rehabilitación. Esta convergencia habilita diagnósticos más finos, reduce la dependencia de “instantáneas” poco representativas y permite intervenir con precisión quirúrgica en los puntos de mayor impacto.

En términos de bienestar, el seguimiento multivariable y de alta resolución temporal capta la naturaleza dinámica del confort doméstico y visibiliza episodios críticos sobrecalentamiento, ventilación insuficiente, deslumbramiento o ruido que pasan inadvertidos con métodos puntuales. En paralelo, la integración de sensores de presencia y algoritmos de control ocupante-céntrico habilita ahorros energéticos medibles sin detrimento del confort, especialmente cuando se parametriza explícitamente la incertidumbre, se calibra el instrumental y se comunican de forma comprensible las recomendaciones al usuario final. La evidencia sugiere que “mejor dato” trazable, comparable y accionable supera a “más dato” como principio rector de la toma de decisiones.

La robustez de los hallazgos depende, no obstante, de avanzar hacia lenguajes y protocolos comunes: definiciones, umbrales, frecuencias de muestreo, ubicaciones de sensores, estimación de incertidumbre y formatos de reporte comparables. La estandarización metodológica, junto con prácticas de gobernanza de datos privacidad por diseño, minimización de datos, transparencia algorítmica y devolución de información útil a los hogares, es condición de posibilidad para escalar despliegues en carteras residenciales y políticas públicas. La interoperabilidad semántica (BIM–IoT–gemelos digitales) y el mantenimiento metrológico sostenido deben planificarse desde el inicio para evitar degradación de calidad al crecer la red.

Desde la perspectiva de práctica profesional, la EPO instrumentada debe concebirse como un ciclo continuo de mejora: (i) instrumentar con un núcleo mínimo de variables (temperatura del aire y radiante, humedad, CO₂/partículas, iluminancia y ruido) y submedición energética; (ii) acoplar encuestas dirigidas y tableros de visualización centrados en el residente; (iii) establecer reglas de control adaptativas que integren preferencias, ocupación y clima; y (iv) auditar periódicamente la calidad del dato y el impacto de las medidas. En vivienda social y rehabilitación de parque existente, este enfoque favorece intervenciones de bajo costo con alta rentabilidad social, especialmente si se acompaña de alfabetización energética y retrocomisionamiento.

Finalmente, emergen cuatro líneas de agenda para la investigación y la gobernanza: (1) consensuar guías de reporte y bancos de datos abiertos que posibiliten meta-análisis comparables por clima, tipología y perfil socioeconómico; (2) ampliar la evidencia en contextos subrepresentados y con muestras longitudinales mayores; (3) evaluar de forma rigurosa los efectos distributivos y de equidad incluidos grupos vulnerables de las estrategias de control; y (4) diseñar marcos regulatorios que reconozcan la EPO instrumentada como criterio de desempeño posentrega y como insumo para incentivos de eficiencia. Con ello, la arquitectura residencial podrá transitar con mayor seguridad del edificio “centrado en sistemas” al edificio “centrado

en personas”, materializando beneficios tangibles en salud habitacional y en sostenibilidad energética.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Bourdeau, M., Dziedzic, R., Perrier, J., Rivals, I., & Rinaldi, A. (2023). A wireless sensor network for residential building energy and indoor environmental quality monitoring: Design, instrumentation, data analysis and feedback. *Sensors*, 23(12), 5580. <https://doi.org/10.3390/s23125580>
- Chung, J., & Shelden, D. (2025). A framework of ifcJSON-based digital twin platform for monitoring building environment using BIM, IoT, and semantic web technologies. En *Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2024)* (LNCE, Vol. 628, pp. 39–53). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84208-5_4
- Duarte Roa, C., Parkinson, T., & Schiavon, S. (2020). Targeted occupant surveys: A novel method to effectively relate occupant feedback with environmental conditions. *Building and Environment*, 184, 107129. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107129>
- Elsayed, M., ç, L., Castaño-Rosa, R., & Romagnoni, P. (2023). Post-occupancy evaluation in residential buildings: A systematic literature review of current practices in the EU. *Building and Environment*, 236, 110307. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110307>
- Elsayed, M., Pelsmakers, S., Pistore, L., Castaño-Rosa, R., & Romagnoni, P. (2023). Post-occupancy evaluation in residential buildings: A systematic literature review of current practices in the EU. *Building and Environment*, 236, 110307. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110307>
- Figueroa-Guerra, D. A., Lopez-Tovar, C. F., Delgado-Revilla, A. R., Pisco-Vanegas, J. C., & De La Torre-Macias, A. A. (2026). Estudio de factibilidad para la ubicación estratégica de sistemas de almacenamiento de energía en alimentadores. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 64-76. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/132>
- Fissore, V. I., Astolfi, A., Alías, F., et al. (2024). Multi-sensor device for traceable monitoring of indoor environmental quality. *Sensors*, 24(9), 2893. <https://doi.org/10.3390/s24092893>
- Fissore, V. I., Astolfi, A., Alías, F., et al. (2025). Development and in-field application of a system for indoor environmental quality monitoring and occupants' feedback collection. En U. Berardi (Ed.), *Multiphysics and Multiscale Building*

- Physics* (LNCE, Vol. 555). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8317-5_18
- Graham, L. T., Parkinson, T., & Schiavon, S. (2021). Lessons learned from 20 years of CBE's occupant surveys. *Buildings and Cities*, 2(1), 698–715. <https://doi.org/10.5334/bc.76>
- Hernández-Martín, M., Del Ama Gonzalo, F., & Alonso González-Lezcano, R. (2025). Indoor environmental quality to ensure the health and wellbeing of vulnerable people in residential buildings: A systematic review. *Frontiers in Built Environment*, 11, 1652527. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1652527>
- Lizarraga-Aguirre, H. R. (2024). Evaluación de materiales sostenibles en la construcción de pavimentos urbano. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 41-54. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/30>
- Nagy, Z., Gunay, H. B., Miller, C., Hahn, J., Ouf, M. M., & O'Brien, W. (2023). Ten questions concerning occupant-centric control and operations. *Building and Environment*, 242, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110518>
- O'Brien, W., Wagner, A., Schweiker, M., Mahdavi, A., Day, J., Kjærgaard, M. B., ... Hong, T. (2020). Introducing IEA EBC Annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation. *Building and Environment*, 170, 106738. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106738>
- Pang, Z., Guo, M., Smith-Cortez, B., O'Neill, Z., Yang, Z., Liu, M., & Dong, B. (2023). Quantification of HVAC energy savings through occupancy presence sensors in an apartment setting: Field testing and inverse modeling approach. *Energy and Buildings*, 301, 113752. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113752>
- Park, J. Y., Ouf, M. M., & Gunay, B. (2019). A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*, 165, 106351. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106351>
- Parkinson, T., Parkinson, A., & de Dear, R. (2019a). Continuous IEQ monitoring system: Context and development. *Building and Environment*, 149, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.010>
- Pedersen, E., Borell, J., Li, Y., & Stålné, K. (2021). Good indoor environmental quality (IEQ) and high energy efficiency in multifamily dwellings: How do tenants view the conditions needed to achieve both? *Building and Environment*, 191, 107581. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107581>
- Rego Neto, M., Santos Silva, C., & Pinto, A. (2025). Evaluating comfort and well-being: A post-occupancy approach for improvements—Insights from 10 residential case studies. *Building and Environment*, 283, 113334. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113334>
- Soleimanijavid, A., Konstantzos, I., & Liu, X. (2024). Challenges and opportunities of occupant-centric building controls in real-world implementation: A critical review. *Energy and Buildings*, 308, 113958. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113958>

- Tanasiev, V., Pătru, G. C., Rosner, D., Sava, G., Necula, H., & Badea, A. (2021). Enhancing environmental and energy monitoring of residential buildings through IoT. *Automation in Construction*, 126, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103662>
- Tripathi, S. T., & Froese, T. M. (2023). Applicability of BIM-IoT-GIS integrated digital twins for post-occupancy evaluations. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1103743. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1103743>
- Tsang, T.-W., Mui, K.-W., Wong, L.-T., Chan, A. C.-Y., & Chan, R. C.-W. (2024). Real-Time Indoor Environmental Quality (IEQ) Monitoring Using an IoT-Based Wireless Sensing Network. *Sensors*, 24(21), 6850. <https://doi.org/10.3390/s24216850>
- Yuan, Y., Song, C., Gao, L., Zeng, K., & Chen, Y. (2024). A review of current research on occupant-centric control for improving comfort and energy efficiency. *Building Simulation*, 17, 1675–1692. <https://doi.org/10.1007/s12273-024-1170-1>
- Zapata-Mendoza, P. C. O., Villalta-Arellano, S. R., Berrios-Zevallos, A. A., Atto-Coba, S. R., & Berrios-Taucaya, O. J. (2023). *Sostenibilidad ambiental en el diseño arquitectónico de plantas procesadoras de alimentos*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.59>