

La dimensión humana y la ciencia de datos en la gestión energética de edificios

The human dimension and data science in building energy management

Debrayan Bravo Hidalgo¹ (dbrayanbh@gmail.com) (<http://orcid.org/0000-0003-0428-2263>)

Alexander Báez Hernández² (alexbaez1995@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-0585-1448>)

Resumen

El objetivo de esta contribución es una revisión sobre el estado de la investigación en torno a la dimensión humana y la ciencia de datos en la gestión eficiente de la energía en los edificios. El método de esta investigación es una revisión de la literatura en Scopus. Como materiales, se utilizan las herramientas de análisis bibliométrico de esta base de datos y el software VOSviewer, el cual, se utiliza para generar un mapa bibliométrico de esta área temática. Los resultados muestran que la dimensión humana es un aspecto fundamental en la gestión energética de los edificios, tan importante como las innovaciones tecnológicas. Dada la naturaleza estocástica del comportamiento humano, la dimensión humana y su impacto en la gestión energética de los edificios no pueden abordarse de la misma manera que se analizan los procesos y medidas para la gestión eficiente de la energía basadas exclusivamente en sistemas y medios tecnológicos.

Palabras clave: Eficiencia energética, dimensión humana, ciencia de datos, edificio.

Abstract

The objective of this contribution is a review of the state of research on the human dimension and data science in efficient energy management in buildings. The method of this research is a review of the literature on Scopus. As materials, the bibliometric analysis tools of this database and the VOSviewer software are used, which is used to generate a bibliometric map of this thematic area. The results show that the human dimension is a fundamental aspect in the energy management of buildings, as important as technological innovations. Given the stochastic nature of human behaviour, the human dimension and its impact on the energy management of buildings cannot be addressed in the same way as processes and measures for efficient energy management based exclusively on technological systems and means are analysed.

Keywords: Energy efficiency, human dimension, data science, building.

¹ Máster en Eficiencia Energética. Ingeniero Mecánico. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

² Doctor of Philosophy(PhD). Máster en Contabilidad Gerencial. Ingeniero Hidráulico, Universidad Tecnológica de la Habana (ISPJAE). Profesor-Investigador de la Universidad Central del Ecuador.

El aumento sostenido de la población mundial, la concentración de esta en las zonas urbanas y el aumento de los estándares de calidad de vida; son elementos que acentúan la importancia de los edificios (Balaji y otros, 2018; Liu y otros, 2018). Los edificios son grandes sumideros de energía que actualmente concentran casi toda la actividad humana entre sus muros (Hale, 2018). En este contexto, el papel relevante y necesario de la gestión eficiente de la energía es innegable en estas obras humanas, abundantes, complejas y cada vez más grandes e imponentes (Bravo, 2018; Hidalgo, 2020).

Ingenieros, arquitectos e investigadores se han centrado en el desarrollo y la validación de nuevas prácticas y procedimientos, en todas las etapas del ciclo de vida de un edificio; que garantizan el ahorro de energía y el uso de tecnologías de energía renovable (Bravo, González y Martínez, 2017; Wei y otros, 2018). La gestión total y eficiente de la energía es para muchas naciones una estrategia de interés (Bravo, 2015). Pero el impacto variable de las medidas de conservación de energía en edificios idénticos es un fenómeno menos comprendido (Hong, Yan, D'Oca y Chen, 2017). Las contribuciones científicas (Jia, Srinivasan y Raheem, 2017; O'Brien y Gunay, 2014) coinciden en que los factores humanos influyen sustancialmente en esta variación en el uso de la energía.

El resultado común que mostraron estas investigaciones, que se desarrollaron en varias disciplinas y son de alcance internacional; es que las inversiones en tecnología por sí solas no necesariamente garantizan un ahorro de energía o una percepción de mayor comodidad por parte de los ocupantes de un edificio. Los factores humanos también juegan un papel crucial, y si bien la comprensión de su impacto ha mejorado, a menudo se ignora en el diseño y operación de los edificios (Sun, Yan, Hong y Guo, 2014).

Por otro lado, no todos los usuarios de una instalación utilizan servicios de energía con el mismo rigor. Se ha demostrado ampliamente en estudios experimentales (Schakib-Ekbatan, Cakıcı, Schweiker y Wagner, 2015; Schweiker y Wagner, 2016) que los ocupantes varían en preferencias de comodidad, satisfacción y percepciones del ambiente interior debido a factores fisiológicos, psicológicos y culturales (Langevin, Wen y Gurian, 2014). Por lo tanto, predecir el desempeño humano y el comportamiento relacionado con la energía, que es una relación estocástica, es una práctica laboriosa y compleja (Wang, Yan, Sun, y Jiang, 2016).

La influencia de la dimensión humana en el uso de energía en los edificios, se refiere a una serie de acciones relacionadas con el ciclo de vida del edificio que incluyen el diseño, construcción, operación, administración, servicio y regulación de los entornos construidos desde el nivel del Edificio a escala urbana. El término humano abarca los roles influyentes de una variedad de actores que tienen un impacto en el rendimiento real del edificio, con un enfoque en el consumo de energía y la comodidad de los ocupantes.

Dados los posibles impactos de las dimensiones humanas en el uso de la energía y la necesidad de cumplir los objetivos de reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (Zuo y Zhao, 2014), se necesitan nuevos datos, directrices y modelos para canalizar el rendimiento de los recursos humanos hacia mejoras sustanciales en el uso de energía en edificios.

Los edificios de energía neta cero, los edificios de energía cero y otras pautas de construcción de alto rendimiento son prácticas energéticas altamente dependientes de la dimensión humana, no siempre considerada en la gestión eficiente de la energía. Esta investigación demuestra la importancia de la dimensión humana y la ciencia de los datos en la gestión energética de los edificios. Lograr la eficiencia energética requiere comprender las dimensiones tecnológicas y humanas, integrar métodos cualitativos y cuantitativos y adoptar herramientas apropiadas para guiar con éxito el diseño y la operación de los edificios.

En el área de gestión energética de edificios, La ciencia de datos se utiliza para abordar problemas como los siguientes: (i) la predicción de la demanda de energía para adaptar la producción y la demanda; (ii) el análisis de las operaciones de los edificios, así como el estado de los equipos y las fallas para optimizar los costos de operación y mantenimiento; (iii) la detección de patrones de consumo de energía para crear planes comerciales personalizados y detectar fraudes energéticos. Esto requiere recopilar datos relacionados con el funcionamiento del edificio y el comportamiento del usuario. Estos datos también deben interpretarse para implementar políticas efectivas de gestión energética. La información recopilada puede provenir de fuentes muy heterogéneas, que van desde sensores in situ, ubicados en el equipo y en el entorno inmediato hasta parámetros externos como, por ejemplo, clima, costos de energía, etc. Los clientes son cada vez más conscientes de la importancia de sus acciones y del valor de los datos que generan. En este sentido, se han convertido en actores con un papel clave en la gestión total y eficiente de la energía, en los edificios.

El objetivo de esta contribución es ofrecer una revisión reflexiva y crítica sobre el estado de la investigación sobre la dimensión humana y la ciencia de datos en la gestión energética de los edificios. El cuerpo de este documento integra resultados tales como: (i) Un análisis bibliométrico de las investigaciones detectadas (tendencia cuantitativa, áreas de investigación, países más productivos, mapa de términos según palabras clave y detención de las publicaciones más citadas por áreas de investigación). (ii) La dimensión humana en la gestión energética de los edificios (diseño, datos, modelos, herramientas y estudios de casos). (iii) Aplicaciones de la ciencia de datos en la gestión energética de edificios (predicción de la carga energética del edificio y análisis económico del consumo de electricidad).

El material utilizado en esta contribución es la información y las herramientas de análisis bibliométrico contenidas en el directorio de investigación académica Scopus y el uso del software de análisis bibliométrico de la ciencia VOSviewer; El método, una

revisión bibliográfica y un análisis crítico de los resultados de las contribuciones referenciadas.

Usando la frase "*human dimensions of energy use in buildings*" en el título, palabras clave y resúmenes de las investigaciones contenidas en el directorio Scopus, se detectó la información procesada. Un total de 133 contribuciones científicas. Utilizando las herramientas de análisis bibliométrico que Scopus proporciona a sus suscriptores, se lograron las figuras 1, 2 y 3; Además, se determinaron los valores del índice h (Ameen, Ghaleb, Alatefi, Alkhalefah y Alahmari, 2018; Lindahl, 2018) de cada una de las investigaciones mencionadas en las Tablas 1 y 2.

Esta misma información se exportó desde el directorio Scopus en dos formatos diferentes. Primero, se exportó en formato (.ris), para ser procesado por el software de gestión bibliométrica EndNote. A través de esta herramienta computacional, se generaron todas las citas contenidas en este documento.

Segundo, esta información se exportó (un total de 133 documentos) del directorio académico mencionado anteriormente, pero esta vez en el formato (.csv). La información en este formato se procesó en el software de análisis bibliométrico de la ciencia VOSviewer. A través de este software, se obtuvo el mapa de términos en la figura 4. Este mapa de términos se realizó utilizando minería de texto en las palabras clave de los documentos detectados.

Análisis bibliométrico de las investigaciones detectadas

Dentro del directorio de investigación académica Scopus, se detectaron 133 documentos y 60.400 patentes relacionadas con la dimensión humana y la ciencia de datos en la gestión energética de los edificios. La Figura 1 muestra un aumento significativo en la investigación relacionada con este tema. El creciente número de contribuciones científicas que estudian el tema de la dimensión humana y la ciencia de datos en la gestión energética de los edificios, justifica este artículo tipo reflexión.

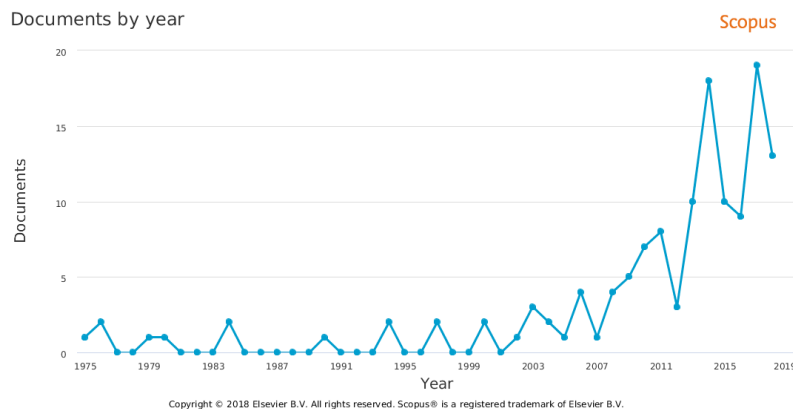


Figura 1. Número de documentos detectados en Scopus, por año, utilizando los criterios de búsqueda previamente declarados en la sección materiales y métodos. Período de análisis de 1975 a 2019.

Las áreas de investigación más activas en términos de productividad científica en esta temática son: ingeniería, ciencias ambientales y energía. Esto se puede ver en la Figura 2.

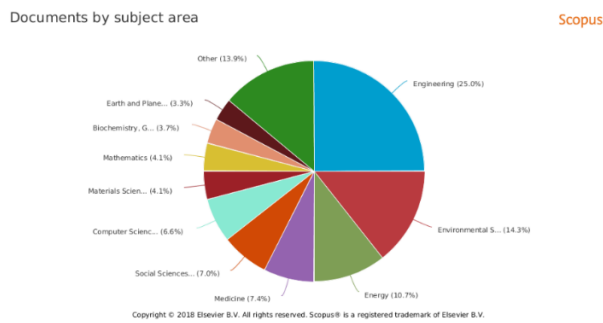


Figura 2 Distribución en valores porcentuales de las 133 investigaciones detectadas en el mencionado directorio académico. Período de análisis de 1975 a 2019.

Las naciones potencias tecnológicas y económicas ven en el estudio de la dimensión humana y la ciencia de datos para la gestión eficiente de la energía en los edificios; un método viable para hacer frente a la creciente demanda de energía en las ciudades y la calidad de vida de sus ocupantes, a nivel mundial. Este criterio se corrobora en la interpretación de la Figura 3.

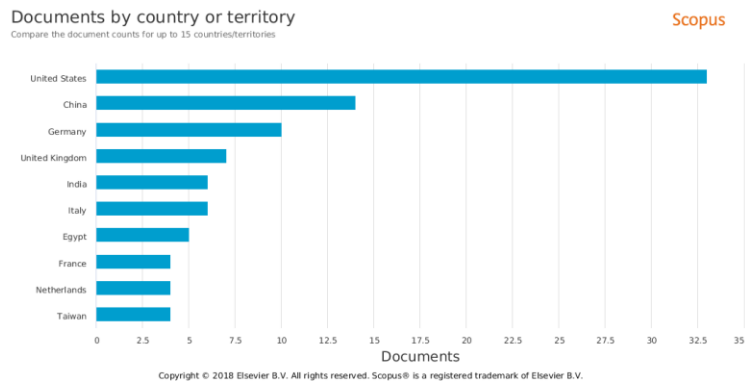


Figura 3 Distribución del número de contribuciones en el catálogo Scopus, por naciones. Período de análisis de 1975 a 2019.

La Figura 4 muestra un mapa de términos de acuerdo con las palabras clave de las investigaciones analizadas en el período 2006 a 2016. Estos años se consideraron para el estudio, porque la figura 1 muestra en ese periodo de tiempo un notable aumento de publicaciones científicas relacionadas a esta temática. El rango de colores identifica la posición en la línea de tiempo de la dirección de las investigaciones. Los términos amarillentos representan las tendencias más actuales. Se puede ver que los edificios inteligentes y el análisis del ciclo de vida son las líneas de investigación en crecimiento. La ciencia de datos es una herramienta a través de la cual se están desarrollando

Área de investigación	Referencias	Índice h
Ingeniería	(Hong y otros., 2017)	63
	(S. D'Oca, Fabi, Corgnati, y Andersen, 2014)	49
	(Sekhar, Tham, y Cheong, 2003)	35
	(Ager, Kline, y Fischer, 2015)	24
Energética	(S. D'Oca y otros., 2014)	49
	(Mavromatidis, Marsault, y Lequay, 2014)	24
	(Ren y otros., 2017)	22
	(Hong, Langevin, y Sun, 2018)	17
Medio ambiente	(Weisz y Steinberger, 2010)	108
	(Hong y otros., 2017)	63
	(Xu y Chan, 2013)	39
	(Sekhar y otros., 2003)	35

La comprensión de la dimensión humana en la gestión de la energía ha sido un tema que ha generado varias investigaciones alrededor del mundo: Australia (Hetherington, Roetzel y Fuller, 2015; Roetzel, Tsangrassoulis y Dietrich, 2014) han mostrado variaciones en un factor de 3 a 10 en el consumo de energía en edificios, que es imputable a factores humanos. Se han desarrollado amplios estudios en todo el mundo en un intento de alinear los resultados de esta investigación y demostrar la necesidad actual y futura de estudios sobre este fenómeno (Hong, D'Oca, Turner y Taylor-Lange, 2015). Estos trabajos confirman la relevancia justificada de la presente investigación, en sus características.

La dimensión humana en la gestión energética de edificios

Se conoce la confiabilidad que los arquitectos e ingenieros dan a las simulaciones computarizadas para evaluar el desempeño de varias opciones de diseño de edificios. Los efectos de las interacciones entre el edificio y los ocupantes han sido ignorados, simplificados o relegados a segundos planos. Por ejemplo, el diseño de un edificio que incorpora ventilación natural puede fallar desde una perspectiva de confort térmico debido a aspectos imprevistos generados por las acciones de abrir y cerrar ventanas y puertas; aspectos que no se consideran en un proceso de simulación de interacción termo-energética común (Chenari, Carrilho y da Silva, 2016).

Del mismo modo, los defectos en el diseño de la luz del día debido a los problemas de deslumbramiento derivados del funcionamiento dinámico del uso de cortinas y tragaluces se han demostrado y discutido en gran medida (Galatioto y Beccali, 2016). Finalmente, se ha demostrado que la incapacidad de considerar los comportamientos realistas del uso del control del termostato del usuario en el diseño y simulación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado causa problemas con la incomodidad de los ocupantes y el incumplimiento de objetivos de ahorro energético (Haniff, Selamat, Yusof, Buyamin y Ismail, 2013).

La baja representatividad del comportamiento del ocupante y el operador en la simulación energética de los edificios es un factor importante que contribuye a las brechas observadas entre el rendimiento energético diseñado y real de los edificios. De hecho, se demostró que el comportamiento de los ocupantes y los operadores son factores importantes que influyen en el uso total de energía simulada de un edificio, junto con varios otros factores, como el clima, las características del equipo, la envolvente del edificio y los puntos de referencia de los elementos básicos como condiciones ambientales interiores. Estas últimas cuatro variables se describen satisfactoriamente mediante ecuaciones matemáticas en la mayoría de los programas de simulación de eficiencia energética en edificios, actualmente empleados (por ejemplo, EnergyPlus, ESP-r, TRNSYS, IDA ICE y DeST). Sin embargo, simular el impacto de los operadores y ocupantes durante la etapa de diseño sigue siendo un gran desafío para los arquitectos e ingenieros, debido a la falta de modelos que puedan predecir de manera confiable el impacto de los ocupantes y operadores, así como la complejidad percibida de los criterios de modelado que existe.

Es necesario que los ingenieros y arquitectos lo consideren de manera integral; cómo interactuarán los ocupantes con el edificio y sus sistemas de energía y cómo esta interacción afecta el uso de energía del edificio y las condiciones ambientales interiores. Para esto, los diseñadores, ingenieros y arquitectos necesitan herramientas más efectivas para predecir el uso de criterios de energía y confort de los ocupantes. Estas capacidades están respaldadas por datos que respaldan modelos basados en evidencia, que pueden representar el comportamiento de los ocupantes y replicar la naturaleza estocástica de su impacto en las soluciones diseñadas. Estas herramientas integran los marcos de modelado desarrollados y establecen estudios de casos para controlar el impacto del comportamiento de los ocupantes y operadores en el desempeño del edificio. En este contexto, la ciencia de datos está emergiendo como una estrategia prometedora, dados los problemas (Kim, Shin y Eon Lee, 2018).

Los analistas de comportamiento y las interacciones de energía del usuario en el edificio han desarrollado y evaluado críticamente varios enfoques de modelos de comportamiento que serían útiles para los diseñadores de edificios (Simona D'Oca y Hong, 2014). Estas investigaciones se han centrado en métodos para evaluar la fuerza y precisión de los modelos propuestos, para establecer el alcance de su aplicación efectiva. Por ejemplo, la contribución de los autores D'Oca, Hong, and Langevin (2018),

encuestó los métodos de modelado del comportamiento de los ocupantes o usuarios en comparación con los enfoques tradicionales. Estos enfoques de modelado innovadores incluyen modelos de Bernoulli, modelos basados en agentes y modelos de supervivencia aplicados a la iluminación, cargas de enchufe y datos de ocupación. Se exploraron métodos para modelar la diversidad entre los ocupantes. Los resultados sugieren fuertemente que los enfoques actuales que utilizan esquemas sintéticos de ocupantes, en otras palabras, los sugeridos por el Estándar 90.1 de ASHRAE para representar a los ocupantes en los edificios, suprimen significativamente la diversidad de comportamientos reales de los ocupantes (D'Oca y otros, 2018).

Para lograr mejores predicciones del rendimiento energético del edificio, los modelos de interacción entre el edificio y el ocupante se han integrado cada vez más en los algoritmos de simulación de energía del edificio. Estos enfoques generalmente se basan en ecuaciones matemáticas que representan la relación entre comportamientos relacionados específicamente con la energía asociada, es decir, abrir ventanas y cortinas, operar luces artificiales, usar equipos eléctricos, etc. y algunas variables físicas del ambiente interior y exterior, específico para una configuración de edificio en particular (Yan y otros, 2015). Los modelos matemáticos se desarrollan sobre la base del análisis estadístico y la extracción de datos de la información monitoreada, con el objetivo de predecir la probabilidad de que se produzca una acción conductual específica en diversas condiciones ambientales (Hidalgo y Perez, 2017).

Las encuestas residuales aplicadas a arquitectos, ingenieros e investigadores sobre cómo las herramientas de simulación de energía de los edificios comúnmente utilizados (EnergyPlus, DOE-2, DeST, ESP-r, TRNSYS, IDA-ICE, COMFIE y DesignBuilder) pueden representar juicios de comportamiento de los ocupantes, energía y efectos ambientales. Los resultados de la encuesta muestran que, aunque estos programas varían en sus enfoques para modelar el comportamiento de los ocupantes, la mayoría se limitan a entradas de comportamiento estáticas y simplificadas y carecen de interoperabilidad en el intercambio o la reutilización de modelos (O'Brien y Gunay, 2016). Para abordar estas deficiencias en las herramientas de simulación en el futuro, se están integrando varias opciones de modelado de comportamiento. Por ejemplo: (i) Simulador de ocupación: un modelo basado en agentes de presencia de ocupantes y movimiento en edificios (Feng, Yan y Hong, 2015). (ii) Unidad de modelo funcional de modelos de comportamiento de ocupantes (Hong, Sun, Chen, Taylor-Lange, y Yan, 2016). Estos modelos permiten la co-simulación entre los modelos de comportamiento de los ocupantes y los programas de Building Performance Simulation (BPS) utilizando la interfaz de los modelos funcionales estándar.

Se ha utilizado una variedad de técnicas de monitoreo objetivo y subjetivo para reunir evidencia empírica de los impactos de los factores humanos en el rendimiento energético de los edificios (Hong y otros, 2017). De hecho, la recopilación de datos sobre la interacción entre la construcción y los recursos humanos ha sido cada vez más posible gracias a los productos de Internet de las cosas (Internet of Things IoT)

(Yaqoob, Hashem, Ahmed, Kazmi y Hong, 2019) y las tecnologías de información y comunicación destinadas a lograr la eficiencia energética en la construcción sector (Hong, Taylor-Lange, D'Oca, Yan y Corgnati, 2016). La cantidad de datos disponibles con respecto a la ocupación, en otras palabras, la presencia y el movimiento, las interacciones de los ocupantes con la envolvente del edificio, es decir, ventanas, puertas, claraboyas, ventanas ciegas, etc.) y El uso que hacen Los ocupantes de los sistemas de control activo, como ventilación, calefacción, aire acondicionado, iluminación y enchufes, han mostrado un aumento particular en los últimos años. Además, los medidores inteligentes de energía y las tecnologías de detección ambiental generalizadas promueven entornos de construcción ricos en datos que ayudan a inferir qué comportamientos de los ocupantes tienen más influencia en los resultados de rendimiento energético (Hong, Taylor-Lange y otros, 2016).

Varios autores han dejado como contribución un grupo de prácticas para el monitoreo del comportamiento de los ocupantes y la recolección de datos. En este documento, se presenta una nueva guía para el modelo de comportamiento de los ocupantes. La guía ofrece recomendaciones sobre el desarrollo de un diseño experimental adecuado para este tipo de investigación e incluye descripciones completas de sensores para monitorear variables ambientales y de comportamiento. Se introducen diferentes tipos de entornos de experimentación y se discute su idoneidad para la respectiva pregunta de investigación. La gestión de datos y los problemas de ética y privacidad también se consideran.

Aplicaciones de la ciencia de datos en la gestión energética de edificios

Las técnicas de ciencia de datos se han utilizado para respaldar y mejorar los aspectos básicos de la eficiencia energética en edificios. En consecuencia, esta sección se centra en las aplicaciones de la ciencia de datos. La Figura 5 muestra el flujo del proceso de esta práctica. Esta práctica innovadora y prometedora encuentra sus aplicaciones actuales y tendencias futuras en los siguientes puntos: (i) Predecir la demanda de energía requerida para la operación eficiente de un edificio. (ii) Estudiar el impacto económico del consumo de energía causado por el usuario del edificio. (iii) Optimizar el funcionamiento de los edificios. (iv) Verificar el estado operativo y las fallas de los sistemas, equipos y redes. (v) Prevenir y detectar fraudes energéticos.

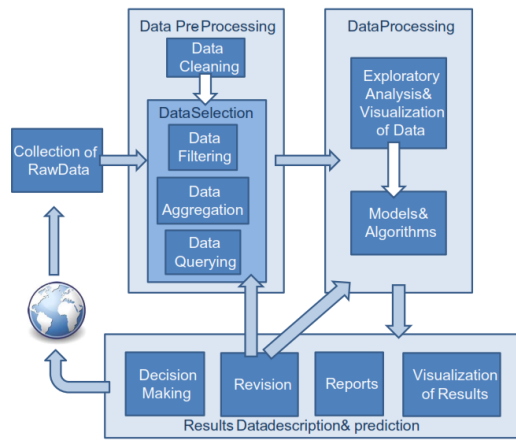


Figura 5. Flujo de proceso en la aplicación de la ciencia de datos (Molina-Solana, Ros, Ruiz, Gómez-Romero, y Martín-Bautista, 2017).

Este trabajo se centra en los dos primeros puntos declarados previamente, dado que estos son los que tienen la mayor relación o dependencia con la dimensión humana en la gestión energética de un edificio.

Predicción del comportamiento energético

La demanda de energía se define como la cantidad de energía requerida en un determinado período de tiempo. En particular, los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado se centran en las cargas térmicas, que se refieren a la cantidad de energía de calefacción y refrigeración que debe agregarse o eliminarse del edificio para mantener a sus usuarios cómodos y saludables. La detección de patrones comunes de cargas térmicas de edificios puede ser extremadamente compleja debido a la cantidad de términos interrelacionados que deben analizarse.

Las cargas eléctricas también se han analizado con métodos de agrupación. De acuerdo con esto, existen estudios que presentan una visión general de los métodos comunes de agrupación como, jerárquico, k-media, k-media difusa, siguen al líder y la relación difusa; y comparó su efectividad en la clasificación de clientes y la generación de perfiles de carga eléctrica en términos de precio minorista promedio y generación neta.

La demanda máxima es el término utilizado en la gestión de la demanda de energía durante un período de tiempo en que se espera que la energía eléctrica se suministre a un nivel de suministro significativamente más alto que el promedio. Cuando los niveles de generación y suministro no pueden satisfacer la demanda, esto puede provocar cortes de energía y pérdida de carga, que son fuentes obvias de insatisfacción del cliente. Por lo tanto, es extremadamente importante desarrollar procedimientos que puedan anticipar la demanda máxima para un día determinado y modelar la carga de energía a corto y mediano plazo. Tradicionalmente, los métodos analíticos convencionales como la regresión se han utilizado con mayor frecuencia para este

propósito. Sin embargo, en los últimos años, se han aplicado otras técnicas de ciencia de datos para construir modelos predictivos a partir de datos históricos. Estos modelos son extremadamente valiosos porque pueden “aprender” tendencias temporales y extrapolarlas a nuevos escenarios.

Consumo de electricidad

Principalmente en las empresas de servicios públicos se ha recurrido a la ciencia de los datos en un esfuerzo por descubrir y comprender cómo y cuándo usan la energía sus clientes. La evolución de la ciencia de datos para extraer dicho conocimiento ha hecho que ciertas compañías sean más competitivas que otras. Las técnicas utilizadas tradicionalmente para esta tarea son la clasificación, agrupación y análisis de patrones, principalmente por reglas de asociación.

Estudios en esta línea muestra que agrupaba a los clientes en clases, de acuerdo con su comportamiento con respecto al consumo de energía. Se empleó una versión modificada del algoritmo para seguir al líder y mapas autoorganizados para comparar los resultados. La clasificación así obtenida fue un primer paso hacia la especificación de las opciones de diversificación arancelaria.

En muchos casos, es necesario analizar eficientemente el flujo de datos continuos. El algoritmo Resumen Incremental y caracterización de patrones, por sus siglas en inglés (ISPC) fue utilizado en la investigación para estructurar el flujo de información en una base de datos establecida en las dimensiones clave para permitir una síntesis provisional rápida. Este estudio permitió la creación de resúmenes continuos, consolidando periódicamente los patrones identificados, lo que facilitó el análisis de los datos y su predicción. La Tabla II muestra las contribuciones científicas socializadas por el directorio académico de Scopus, más citado entre las investigaciones sobre la aplicación de la ciencia de datos a la gestión energética de los edificios. El índice de citas o índice h que se refleja en dicha tabla se limita a citas de investigación dentro del catálogo o base de datos Scopus.

Tabla II. Contribuciones científicas más citadas por área temática, en las aplicaciones de la ciencia de datos para la gestión energética de edificios.

Área de investigación	Referencia	Índice h
Ingeniería	(Lamberg, Lehtiniemi, y Henell, 2004)	185
	(Gröger y Plümer, 2012)	182
	(Clarke y otros., 2002)	107
	(Pedrini, Westphal, y Lamberts, 2002)	82
	(Gröger y Plümer, 2012)	182

Ciencia de la computación	(S. Y. Jing, S. Ali, K. She, y Y. Zhong, 2013)	68
	(Iglesias y Kastner, 2013)	53
	(Mohr y otros., 2012)	42
Energética	(Choi y Kim, 2003)	81
	(Deng, 2003)	66
	(Gadsden, Rylatt, Lomas y Robinson, 2003)	59
	(Fan, Xiao, y Zhao, 2017)	38

También se han creado modelos para proporcionar información sobre el desperdicio de energía para la iluminación del espacio.

Discusión

Dada la amplitud con la que se pueden definir las dimensiones humanas en el diseño y operación de los edificios, es esencial que las partes interesadas, investigadores, diseñadores, ingenieros, operadores, usuarios, empresas de servicios públicos, proveedores de tecnología y los responsables de las políticas energéticas, se informen sobre la importancia de este término. La comprensión de la dimensión humana debe convertirse en una parte integral del flujo de trabajo de cada parte interesada y lograr impactos positivos a gran escala en el uso de energía, la comodidad de los ocupantes del edificio y los resultados asociados, como los costos de energía, la salud y la productividad (D.-X. Zhao, He, Johnson, y Mou, 2015).

La educación de las partes interesadas sobre la dimensión humana o el recurso humano puede presentarse de varias maneras, por ejemplo: proyecciones cualitativas y cuantitativas de la adopción y aceptación de tecnología para los autores de políticas energéticas y ambientales; metodologías de simulación de comportamiento en la etapa de diseño para ingenieros y arquitectos; y herramientas mejoradas para gestionar y optimizar las operaciones de construcción contra el comportamiento humano adaptativo (Hong y otros., 2018). La implementación exitosa de estos enfoques ayudará a evitar conceptos erróneos de diseño, es decir, la brecha entre el rendimiento energético pronosticado y medido, las fallas operativas y el sobredimensionamiento de sistemas de calefacción ventilación y aire acondicionado.

Por otro lado, la gran cantidad de datos generados por los sensores se puede utilizar para aumentar la eficiencia energética. Sin embargo, la gran cantidad de datos plantea un desafío en varios niveles para los enfoques tradicionales de análisis de datos. Es necesario desarrollar nuevas infraestructuras y herramientas para enfrentar lo que ahora se conoce como Big Data. La definición más amplia de Big Data es información que es demasiado grande y compleja para ser manejada por las bases de datos

tradicionales. Según estudios, Big Data se describe en tres aspectos: volumen, variedad y velocidad. El volumen se refiere a la gran cantidad de datos que ya producen; la variedad se refiere a su diversidad ya que los datos provienen de diferentes fuentes; y velocidad se refiere a la velocidad a la que se obtienen y acceden estos datos.

Este trabajo no está completo sin una reflexión sobre los problemas que ahora afectan y afectarán la evolución de la eficiencia y la gestión energética y su relación con las técnicas de telecomunicaciones y tecnología de la información. Estas tendencias fortalecerán el papel progresivamente creciente de la ciencia de datos en este campo, y conducirán a aplicaciones pioneras. Actualmente, la tendencia es hacia soluciones más específicas. Las sinergias correctas entre las compañías de energía y las compañías de tecnología pueden conducir a ideas comerciales innovadoras.

En el mundo de hoy, una de las mejores estrategias para una empresa es especializarse en un problema frecuente en el mercado y resolverlo de manera más efectiva que la competencia. En este contexto, las herramientas de Big Data aplicadas a problemas energéticos están llamando la atención de la comunidad científica internacional, ya que prometen soluciones altamente especializadas para un mercado de servicios extremadamente competitivo. En este sentido, son capaces de superar otras herramientas más tradicionales. Aunque solo son aplicables a áreas pequeñas, los resultados pueden generar enormes ahorros y beneficios financieros.

Además de Big Data, como herramienta de ciencia de datos, se espera que tenga un impacto significativo en la gestión y eficiencia energética; incluyen medición inteligente, Internet de las cosas y computación en la nube. Sin embargo, estas tecnologías ponen en primer plano cuestiones cruciales que deben abordarse, a saber, la privacidad junto con la incertidumbre y la inexactitud.

Limitaciones de la investigación

El estudio se limita a las contribuciones científicas publicadas en idioma inglés y contenidas en Scopus. El 40.47% de las investigaciones discutidas en este documento fueron publicadas en los últimos 5 años. La investigación no analiza otras líneas de la aplicación de la ciencia de datos para la gestión eficiente de la energía en los edificios, donde la dimensión humana tiene un gran peso, tales como: la optimización de las operaciones logísticas en el edificio, la verificación de los estados operativos y las fallas de los sistemas, equipos y redes.

Este estudio muestra la importancia de considerar los recursos humanos como un aspecto fundamental en el consumo de energía en los edificios, igual en peso a las innovaciones tecnológicas. Dada la naturaleza estocástica del comportamiento humano, la dimensión humana y su impacto en la gestión energética de los edificios no pueden abordarse de la misma manera que las medidas de eficiencia energética basadas exclusivamente en sistemas y medios tecnológicos.

En realidad, las dimensiones humanas en el consumo de energía no pueden examinarse completamente a través de la perspectiva de un participante en un edificio en particular. El estudio proporciona una visión general de las necesidades de investigación y las oportunidades de este análisis desde diversas perspectivas de aquellos involucrados en todo el ciclo de vida de un edificio.

Este documento ha revisado los desarrollos recientes en las tecnologías de la información y su influencia en la gestión de la energía de los edificios. Examina la utilidad de varias técnicas de ciencia de datos que se han aplicado para resolver problemas de eficiencia y gestión energética. Dados los desafíos actuales que deben abordarse en la gestión de la energía, está claro que las técnicas de ciencia de datos se aplicarán ampliamente en el futuro cercano.

Este nuevo contexto desafía activamente a los investigadores a desarrollar soluciones para administrar grandes cantidades de datos heterogéneos en tiempo real, así como a encontrar formas de lidiar con los diferentes grados de incertidumbre asociados con ellos. Las técnicas de ciencia de datos han demostrado ser herramientas valiosas capaces de extraer y explotar el conocimiento y la información inherentes a los datos generados por la actividad de los usuarios de un edificio. En un futuro cercano, las técnicas de Big Data ampliarán estas posibilidades y las democratizarán. Esto mejorará la conciencia energética, ya que los usuarios tendrán acceso a más datos y podrán comprender sus propios hábitos de consumo de energía. En este sentido, la comunidad científica y empresarial ha comenzado a percibir que el ahorro de energía no es solo una cuestión de optimización de sistemas y equipos, sino también de comprender y actuar sobre el comportamiento de los usuarios.

Referencias

- Ager, A. A., Kline, J. D. y Fischer, A. P. (2015). Coupling the Biophysical and Social Dimensions of Wildfire Risk to Improve Wildfire Mitigation Planning. *Risk Analysis*, 35(8), 1393-1406. doi:10.1111/risa.12373
- Ameen, W., Ghaleb, A. M., Alatefi, M., Alkhalefah, H., y Alahmari, A. (2018). An overview of selective laser sintering and melting research using bibliometric indicators. *Virtual and Physical Prototyping*, 13(4), 282-291.
- Balaji, B., Bhattacharya, A., Fierro, G., Gao, J., Gluck, J., Hong, D., . . . Agarwal, Y. (2018). Brick: Metadata schema for portable smart building applications. *Applied Energy*, 226, 1273-1292.
- Bravo, D. (2018). Night air conditioning of buildings by external air ventilation. *Revista Facultad de Ingeniería*, 27(48), 35-47.
- Bravo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. *Centro Azúcar*, 42(4), 14-25.
- Bravo, D., González Alonso, J., y Martínez Pérez, Y. (2017). Costos de las tecnologías de almacenamiento de energía térmica. *Centro Azúcar*, 44(4), 67-76.

- Chenari, B., Carrilho, J. D., y da Silva, M. G. (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1426-1447.
- D'Oca, S., Fabi, V., Corgnati, S. P., y Andersen, R. K. (2014). Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes. *Building Simulation*, 7(6), 683-694. doi:10.1007/s12273-014-0191-6
- D'Oca, S., y Hong, T. (2014). A data-mining approach to discover patterns of window opening and closing behavior in offices. *Building and Environment*, 82, 726-739.
- D'Oca, S., Hong, T., y Langevin, J. (2018). The human dimensions of energy use in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 731-742.
- Fan, C., Xiao, F., y Zhao, Y. (2017). A short-term building cooling load prediction method using deep learning algorithms. *Applied Energy*, 195, 222-233. doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.064
- Feng, X., Yan, D., y Hong, T. (2015). Simulation of occupancy in buildings. *Energy and Buildings*, 87, 348-359.
- Galatioto, A., y Beccali, M. (2016). Aspects and issues of daylighting assessment: A review study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 852-860.
- Gunay, H. B., O'Brien, W., y Beausoleil-Morrison, I. (2013). A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. *Building and Environment*, 70, 31-47.
- Hale, L. A. (2018). Anthropocentric urban sustainability: Human significance in building automation. *Sustainable Cities and Society*, 42, 423-433.
- Haniff, M. F., Selamat, H., Yusof, R., Buyamin, S., y Ismail, F. S. (2013). Review of HVAC scheduling techniques for buildings towards energy-efficient and cost-effective operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 94-103.
- Hetherington, J., Roetzel, A., y Fuller, R. (2015). The impact of occupant behaviour on residential greenhouse gas emissions reduction. *Journal of Green Building*, 10(4), 127-140.
- Hidalgo, D. B. (2020). Power flexibility integrated at cooling systems in buildings. A survey and bibliometric approach. *Revista Cubana de Ingeniería*, 11(2), 20-29.
- Hidalgo, D. B., y Perez, Y. M. (2017). Eficiencia energética, competitividad empresarial y economía verde. *Revista Publicando*, 3(9), 447-466.
- Hong, T., D'Oca, S., Turner, W. J., y Taylor-Lange, S. C. (2015). An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. *Building and Environment*, 92, 764-777.

- Hong, T., Langevin, J., y Sun, K. (2018). *Building simulation: Ten challenges*. Paper presented at the Building Simulation.
- Hong, T., Sun, H., Chen, Y., Taylor-Lange, S. C., y Yan, D. (2016). An occupant behavior modeling tool for co-simulation. *Energy and Buildings*, 117, 272-281.
- Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., y Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 116, 694-702.
- Hong, T., Yan, D., D'Oca, S., y Chen, C.-f. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment*, 114, 518-530.
- Iglesias, F., y Kastner, W. (2013). Analysis of Similarity Measures in Times Series Clustering for the Discovery of Building Energy Patterns. *Energies*, 6(2), 579-597. doi:10.3390/en6020579
- Jia, M., Srinivasan, R. S., y Raheem, A. A. (2017). From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 525-540.
- Jing, S.-Y., Ali, S., She, K., y Zhong, Y. (2013). State-of-the-art research study for green cloud computing. *The Journal of Supercomputing*, 65(1), 445-468.
- Jing, S. Y., Ali, S., She, K., y Zhong, Y. (2013). State-of-the-art research study for green cloud computing. *Journal of Supercomputing*, 65(1), 445-468. doi:10.1007/s11227-011-0722-1
- Kim, Y., Shin, H., y eon Lee, S. (2018). *Establishment of Low Energy Building materials and Equipment Database Based on Property Information*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Langevin, J., Wen, J., y Gurian, P. L. (2014). *Including occupants in building performance simulation: integration of an agent-based occupant behavior algorithm with Energy Plus*. Paper presented at the ASHRAE/IBPSAUSA Building Simulation Conference. Atlanta, GA.
- Lindahl, J. (2018). Predicting research excellence at the individual level with bibliometric indicators: a rejoinder on a comment by Van den Besselaar and Sandstrom (2018). *Journal of Informetrics*, 12(4), 1194-1198.
- Liu, Y., Yu, N., Wang, W., Guan, X., Xu, Z., Dong, B., y Liu, T. (2018). Coordinating the operations of smart buildings in smart grids. *Applied Energy*, 228, 2510-2525.
- Mavromatidis, L. E., Marsault, X., y Lequay, H. (2014). Daylight factor estimation at an early design stage to reduce buildings' energy consumption due to artificial lighting: A numerical approach based on Doehlert and Box-Behnken designs. *Energy*, 65, 488-502. doi:10.1016/j.energy.2013.12.028

- Molina-Solana, M., Ros, M., Ruiz, M. D., Gómez-Romero, J., y Martín-Bautista, M. J. (2017). Data science for building energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 598-609.
- O'Brien, W., y Gunay, H. B. (2014). The contextual factors contributing to occupants' adaptive comfort behaviors in offices—A review and proposed modeling framework. *Building and Environment*, 77, 77-87.
- O'Brien, W., y Gunay, H. B. (2016). Implementation of the occupant behaviour and presence models in OpenStudio. *Final Report Submitted to Natural Resources Canada. Carleton University*.
- Ren, X., Fan, H., Wang, C., Ma, J., Lei, S., Zhao, Y., . . . Zhao, N. (2017). Magnetic force driven noncontact electromagnetic-triboelectric hybrid nanogenerator for scavenging biomechanical energy. *Nano Energy*, 35, 233-241. doi:10.1016/j.nanoen.2017.03.047
- Roetzel, A., Tsangrassoulis, A., y Dietrich, U. (2014). Impact of building design and occupancy on office comfort and energy performance in different climates. *Building and Environment*, 71, 165-175.
- Schakib-Ekbatan, K., Cakıcı, F. Z., Schweiker, M., y Wagner, A. (2015). Does the occupant behavior match the energy concept of the building?—Analysis of a German naturally ventilated office building. *Building and Environment*, 84, 142-150.
- Schweiker, M., y Wagner, A. (2016). The effect of occupancy on perceived control, neutral temperature, and behavioral patterns. *Energy and Buildings*, 117, 246-259.
- Sun, K., Yan, D., Hong, T., y Guo, S. (2014). Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration. *Building and Environment*, 79, 1-12.
- Wang, C., Yan, D., Sun, H., y Jiang, Y. (2016). A generalized probabilistic formula relating occupant behavior to environmental conditions. *Building and Environment*, 95, 53-62.
- Wei, Z., Xu, W., Wang, D., Li, L., Niu, L., Wang, W., . . . Song, Y. (2018). A study of city-level building energy efficiency benchmarking system for China. *Energy and Buildings*, 179, 1-14.
- Xu, P., y Chan, E. H. W. (2013). ANP model for sustainable Building Energy Efficiency Retrofit (BEER) using Energy Performance Contracting (EPC) for hotel buildings in China. *Habitat International*, 37, 104-112. doi:10.1016/j.habitatint.2011.12.004

- Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Gunay, H. B., Tahmasebi, F., y Mahdavi, A. (2015). Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy and Buildings*, 107, 264-278.
- Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Ahmed, A., Kazmi, S. A., y Hong, C. S. (2019). Internet of things forensics: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 92, 265-275.
- Zhao, D.-X., He, B.-J., Johnson, C., y Mou, B. (2015). Social problems of green buildings: From the humanistic needs to social acceptance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1594-1609.
- Zuo, J., y Zhao, Z.-Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271-281.