

## **EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS A TRAVÉS DE PROCESOS “INTELIGENTES”**

**<sup>1</sup>Vacas Martin, J**

**Máster Universitario en Eficiencia Energética en la Edificación, la Industria y el Transporte. Universidad Politécnica de Madrid  
e-mail: j.vacas@alumnos.upm.es; neoargos@gmail.com**

### **RESUMEN**

En los últimos tiempos el mundo de la edificación ha estado marcado por la incorporación de la tecnología para administrar los procesos que se desarrollan en la complejidad creciente de instalaciones y sistemas de un edificio. En esta línea, cada vez es más utilizado el término “Edificio Inteligente”, para identificar aquellos que son capaces de integrar todos los sistemas y subsistemas que conviven en el edificio; incluso se han empezado a identificar con el término “Smart Building”, a aquellos que suponen un paso más en la integración e interacción de sistemas. Analizando esta coyuntura con detenimiento, la realidad es que aún persisten las denominadas islas de automatización y realmente queda por aplicar en toda su extensión el concepto de proceso inteligente. Esta comunicación pretende analizar el estado del arte del concepto de edificios inteligentes y las posibilidades de que aplicando más eficazmente el sentido de “Proceso Inteligente” se podría alcanzar un elevado nivel de Eficiencia Energética y Sostenibilidad.

Palabras clave: Intelligent Building, Smart Building, Building Energy Management and Control, Artificial intelligence, Automation.

## 1. Introducción

El concepto de Edificio Inteligente ha evolucionado desde su primera formulación hace más de 30 años, impulsado por el propio avance de la tecnología que nos ha hecho pensar en nuevos límites para este concepto y dejando atrás las definiciones de las primeras visiones.

La evolución de los sistemas de gestión, protocolos de comunicaciones, internet con la introducción del nuevo protocolo de IPv6 (<http://techterms.com/definition/ipv6>), la interacción entre plataformas de gestión creando estándares de comunicación, los captadores de información cada vez más avanzados (contadores inteligentes, materiales inteligentes, sensores inteligentes...) y sobre todo la incorporación tan evidente de la informática, ha transformado el panorama a pasos agigantados.

En realidad en escaso tiempo, hemos pasado de entender los edificios inteligentes como capaces de reaccionar, a otorgarle alguna capacidad de interactuar o cierto nivel de inteligencia a la hora de gestionar los recursos.

En cualquier caso, la realidad sigue demostrando que tanto las expresiones "intelligent Building" como "Smart Building" que tanto podemos reconocer en publicaciones comerciales o pseudotécnicas, son mayoritariamente, un reclamo más para los objetivos comerciales de inmobiliarias o gestores de espacios de oficinas. La realidad es que aún se tienen que superar varios retos para alcanzar el verdadero sentido de estos términos.

En nuestro caso y al margen de debates sobre definiciones que tanto gustan, nos centraremos en la evolución de los mismos y en cómo estos pueden acercarnos a un objetivo mayor como es la Eficiencia Energética y la Sostenibilidad.

## 2. Referencia Histórica

Hace más de cien años, el objetivo de los edificios era ante todo mantenerse en el tiempo, perdurar. Las grandes obras de arquitectura lo han conseguido, pero su alto coste hace que sean en parte irrepetibles.

El gran reto evolutivo de los siguientes años, ha sido darle cada vez más valor a los edificios [1], haciendo que los costes de construcción se reduzcan pero incrementando el nivel de confort, la satisfacción del usuario, el rendimiento y reduciendo sus consumos energéticos.

En la figura 1 Buckman resume la evolución histórica de diferentes elementos de confort de un edificio a través de la categorización de los edificios. [2]

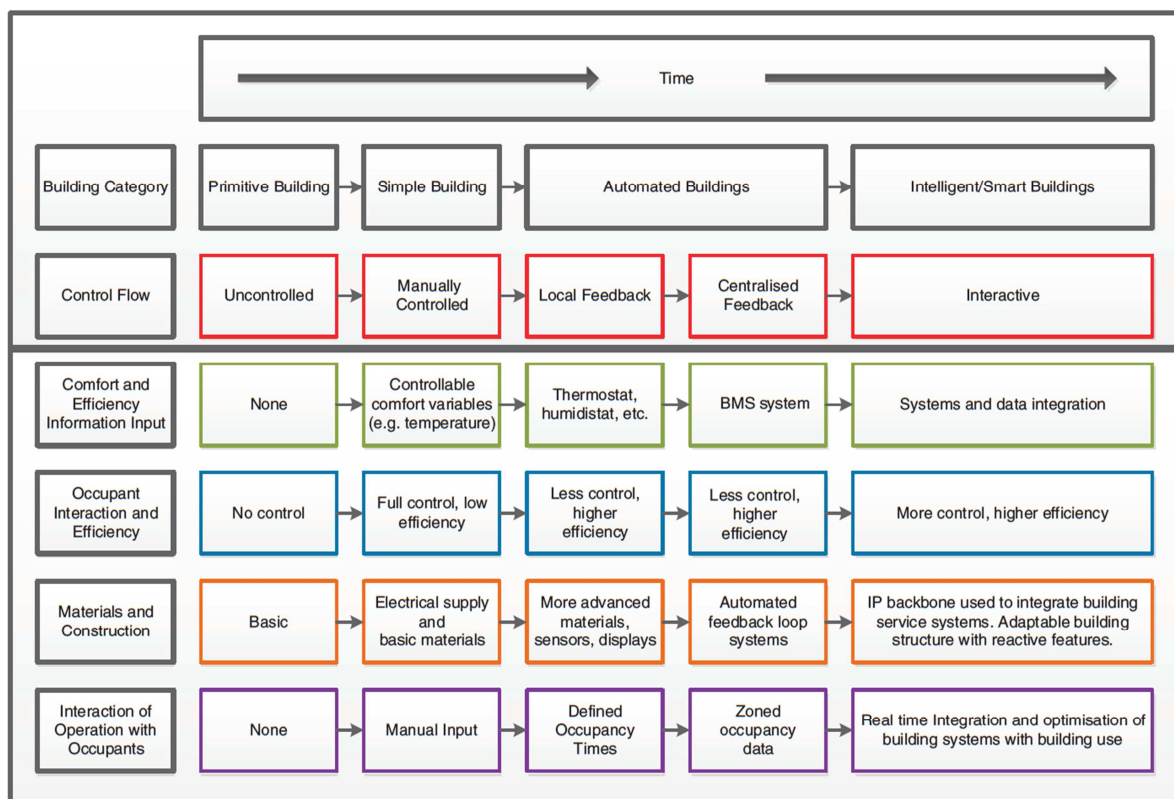


Figura 1 [2]

Esta particular visión, se centra sobre todo en mostrar los cambios que se han producido para llegar a los conceptos actuales de “Intelligent/Smart Building”. Como se puede comprobar, prácticamente todos los cambios son evolutivos, basados principalmente en el propia evolución de la tecnología, pero manteniendo al margen el mayor contribuidor al concepto inteligente que es la capacidad de aprender de su entorno y experiencia.

Desde el inicio, Inteligencia se ha venido asociando a la integración de plataformas que componían los servicios de un edificio, de esta forma la evaluación de un edificio venía asociada a este nivel de integración. Cuanto mas integradas estuvieran las plataformas, mayor seria su nivel de inteligencia. [3]. Otros autores definían los edificios inteligentes como aquellos que ayudan a las organizaciones a alcanzar sus objetivos, facilitando la gestión de sus recursos y así aumentando su eficacia. En resumen, hacer frente a los cambios sociales y tecnológicos, para adaptarse a las necesidades humanas. [4]

Como vemos, la falta de concreción respecto a las definiciones de estos nuevos términos, ha generado deficiencias en el propio desarrollo del concepto y sobre todo inseguridad del posible cliente/propietario. [5]

Esta evolución también ha estado muy marcada por la incursión de organismos internacionales de normalización y regulación, que han intentado arrojar luz a su definición. Estos organismos han integrando y estructurando no tanto la definición de IB (Intelligent Building) en si, como muchos de los elementos que lo componen. Así, en la última década son más fáciles de reconocer términos y plataformas (p.e. BAS Building Automation System) o elementos (p.e. autómatas, PLC, etc.) [6] En cualquier caso lo que es cierto es que el concepto de IB se sigue sustentando sobre una visionaria definición de Wong, que lo basaba en la integración de tres sistemas:

- Sistema de automatización de edificios (BAS).
- Sistema de Telecomunicaciones.
- Sistema de gestión asistida por ordenador.

Según su visión, esto sería posible alcanzarlo por las mejoras que deberían producirse en los elementos físicos que la componían (software y hardware) y en los elementos conceptuales (inteligencia distribuida, gestión integrada de datos, integración con los sistemas de información de las compañías o homogenización de protocolos de comunicaciones).

Si lo vemos con perspectiva casi 20 años después, gran parte de las definiciones aun siguen vigentes. [7]

### **3. Descripción de los cambios**

Los cambios clave, algunos de ellos cruciales, que han contribuido en esta evolución están centrados en determinadas áreas de trabajo.

#### **3.1. Integración**

Hacer que distintas aplicaciones interactúen, sin duda ha ayudado a mejorar la percepción del usuario sobre lo que una plataforma inteligente es capaz de ofrecerle.

Así, soluciones como la identificación de personas para la mejora de los controles de seguridad de un edificio [8], [9], o los sistemas integrados de detección de incendios [10], creación dinámica de rutas de evacuación de edificios [11], [12], reducción de complejidad por el uso de dispositivos que utilizan Wifi [13], [14] o sistemas de iluminación eficaces y adaptativos [15], dejan claro que el factor de la integración ha sido esencial en la obtención de un mayor valor añadido.

#### **3.2. Comunicación, protocolos**

Esta integración de la que hablamos, no hubiera sido posible sin un cambio en la forma en la que los dispositivos y plataformas que componen toda la infraestructura de un edificio se comunican. Pasar de islas de información, a información estructurada, almacenada y compartida requería grandes cambios. Así hemos asistido al gran cambio en el protocolo de comunicación de internet de IPv4 a IPv6 [16], la estandarización de la forma de compartir información entre las plataformas como BACnet [10], [17], [18] o BACnet sobre OPC [19].

Por otro lado, el giro dado por las plataformas en el uso del estándar de Web Services (forma de intercambiar datos entre aplicaciones desarrolladas en lenguajes de programación diferentes.) bajo la supervisión de comités de estandarización W3C o WS-I permite a desarrollos informáticos heterogéneos interactuar entre si eficazmente. [20]–[23]

#### **3.3. Modelos constructivos**

La irrupción de restricciones gubernamentales sobre el uso más eficiente de la energía unido a una mayor conciencia sobre sostenibilidad, ha provocado la aparición de una tendencia generalizada de construcción “ecológica”. Este forma de trabajo cambia el punto de intervención de estas medidas al inicio del proyecto, desde su conceptualización. Esto también ha propiciado la aparición de certificaciones (LEED o BREAM level) cuyos niveles de cumplimiento de estándar, determinan claramente cuán cerca nos encontramos del mismo.

De la misma forma, de esta línea de trabajo surge el modelo constructivo IGBP (Intelligent Green Building Project). El objetivo de este modelo es trasladar y mantener los criterios durante todo el ciclo de vida; desde el diseño del edificio a la construcción y posteriormente a su operación. Esta técnica está basada en un modelo de evaluación de variables, dividido en secciones, categorías y elementos. La idea es evitar que un edificio acabe siendo distinto a los elevados criterios de sostenibilidad y eficiencia que se adoptaron en su concepción comparando en todo momento los valores iniciales y los que se obtienen. [24]

### 3.4. Aplicación de Reglas

El uso y aplicación de reglas ha introducido en un sistema de gestión de un edificio la forma más sencilla de predicción. Se basa en la determinación de una serie de variables en la fase de diseño que han de cumplirse en la operación del edificio. Sus variaciones en la operación del edificio permiten adaptarse o anticiparse a nuevas condiciones; para ello el sistema de gestión actúa sobre los subsistemas (HVAC, Electricidad, Agua...). Es claro que se trata de un modelo muy próximo al reactivo, pero permite tener bajo control fácilmente variables de una forma automatizada. [25], [26]

### 3.5. Simulaciones

De acuerdo con el arquitecto malagueño Rafael Urquiza,

*“Un edificio inteligente no es aquel al que le han añadido aparatos electrónicos tras su construcción, ha de serlo desde su concepción”*

(<http://www.efefuturo.com/noticia/el-edificio-inteligente-nace-no-se-hace/>).

Y de la misma forma indica que

*“existen varios tipos de inteligencia, una pasiva, relativa a su diseño, y otra añadida, que tiene que ver con sistemas activos o reactivos -energía, sensores- que actúan en función de lo que pasa. La inteligencia pasiva se aplica en el diseño del edificio.*

*En esta fase de diseño se recurre a sistemas de análisis y simulación virtual para prever cómo se comportaría el edificio en la realidad con los vientos predominantes que hay en esa zona, con la radiación solar o con respecto a los flujos peatonales, por ejemplo”.*

Estas simulaciones lo que permiten es un diseño mucho más equilibrado y sobre todo que está basado en las variables a las que va a ser sometido el edificio en su explotación. [27]–[30]

La incorporación de todas estas variables en la vida de un edificio, ha propiciado que este concepto de IB haya ido evolucionado en complejidad pero al mismo tiempo (por clara necesidad) a algo mucho más estructurado y sistematizado, que nos permite entender y disfrutar las ventajas que supone un modelo evolucionado de gestión de los edificios.

## 4. Smart Building

Después de revisar esta evolución histórica del concepto de edificio inteligente, se puede avanzar en una mejor definición del concepto de “Smart Building” (SB).

La diferencia entre BI y SB es básicamente que los sistemas en vez de reaccionar ante los estímulos (variables como  $T^a$ , humedad, ocupación, alarmas, etc...) permiten la adaptabilidad de los servicios, mediante sistemas predictivos que se nutren tanto de información interna como externa y sobre todo que han “aprendido” de eventos pasados. [2], [31], [32]

Son claros los cambios en la tendencia que se están produciendo y que se adaptan a esta nueva definición. Así, los nuevos SCADA ya incluyen modelos predictivos (IndasIBMS SCADA) [33] y estos se están imponiendo en los nuevos diseños. Por otro lado se nota la inclusión de otras variables como las medioambientales para contribuir a una mejor adaptación de los sistemas [34], el uso generalizado de aplicaciones de diferentes instalaciones que publican Web Services bajo OPC, permitiendo que las aplicaciones compartan información [35] o el uso de nuevas métricas basadas en la actividad o comportamiento de los usuarios [36] están permitiendo que nuevas iniciativas, como la integración de micro-redes de energías alternativas, en el suministro general de un edificio, se convierta en una realidad [37] Todo esto está contribuyendo en muchos aspectos de mejora de gestión o de confort hacia el usuario, pero sobre todo, se está progresando en la introducción de variables que contribuyen al objetivo de mejora de la Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Edificios.

## 5. Eficiencia Energética

Alcanzar los logros de reducción de consumo de energía en un 20% es parte de los objetivos Europa 2020 adoptados por la CEE. En la edificación, la tendencia es más ambiciosa y se habla con consistencia de la construcción de edificios de consumo mínimo o nulo. Los esfuerzos que se han realizado para lograr este objetivo son bastante amplios, impulsados sobre todo por una conciencia más generalizada de la reducción del consumo, sostenibilidad y reducción de la huella de carbono ante el cambio climático. [38]

Son muchos los cambios que se están produciendo en las metodologías para abordar un proyecto de edificación. Quizá la más importante es que todas las nuevas acciones parten de la fase inicial del proyecto y que incluyen como mínimo de estrategias de diseño pasivo [39] o la utilización de un sistemas de control basados en sistemas neuronales artificiales.

Estos últimos sistemas, permiten a la plataforma realizar un aprendizaje, basado por ejemplo en las pautas de los usuarios, para adaptar las instalaciones y servicios más rápidamente a los cambios y así poder evitar picos en el consumo energético (sobre todo en sistemas como el de calefacción), que son de compleja optimización y que suponen un gran desperdicio de energía. [40]

Donde también se han producido grandes cambios han sido en los edificios de mayor consumo, como son los comerciales. En estos edificios el coste de las infraestructuras generales se imputa entre los que ocupan los locales comerciales y por tanto su dimensionamiento, como su uso supone un derroche de energía considerable. Una solución es de análisis y simulación. Por un lado se recogen los datos de los sensores del edificio ( $T^a$ , humedad, etc...) y de los consumos eléctricos producidos. Con ellos se realiza un análisis comparativo y con sus variaciones se realiza la correspondiente simulación; los datos extraídos darán un escenario óptimo y que permitirá la optimización de los consumos mediante los ajustes de estas variables. [41].

El siguiente escalón evolutivo ha sido integrar los valores de la oferta y la demanda energética en la simulación, incluyendo fuentes de energía alternativas y distintos proveedores energéticos. Esto permite al sistema también optimizar el coste y el origen de los servicios energéticos. [42]

## 6. Conclusiones

Estos procesos “inteligentes” son los que al final pueden establecer la diferencia entre la forma actual y futura en la que entendemos la Eficiencia Energética en los futuros edificios, aunque con el tiempo y las modas los queramos llamar de formas diferentes. Hacer que un edificio, no solo maneje sus variables, sino que contemple otras nuevas (tanto internas como externas), combinándolas y aprendiendo como se afectan entre ellas, permitirá que se progrese en el proceso “lógico” que aun le falta a este proceso evolutivo.

Por otro lado, hay que desprenderse del temor extendido a que nos gestionen los llamados procesos neuronales desarrollados por maquinas. Debido en gran parte a la desinformación alentada por nuestro consumo de productos de ciencia-ficción, los procesos basados en inteligencia artificial, nos producen un cierto rechazo aun, pero a estas alturas a nadie se le ocurre obviar que la forma mas eficaz, de que nuestro entorno sufra en la menor medida nuestro paso por él, es que los espacios que nos acogen temporalmente se comporten activamente para evitar el derroche de recursos, sin que todo esto además pueda depender de la voraz e interesada actividad humana.

Como contrapuesta, esta perdida de control sobre lo que ocurrirá en los edificios futuros, se vera compensada con las características nuevas que nos proporcionaran los mismos. Una de ellas será la protección. En los edificios futuros, con sus sistemas complejos y predictivos, cuidaran mejor de sus ocupantes ante situaciones eventuales y peligrosas como un incendio, (limitando sus consecuencias) o extraordinarias como un terremoto (adelantándose al temblor y evacuando el edificio). [32]

Que duda cabe que el futuro es en este área es muy prometedor, y sin duda alguna deparara muchas satisfacciones en los próximos años, sobre todo si se mantiene el empeño en conservar el difícil equilibrio entre moradores y entorno que hasta ahora no hemos respetado.

## REFERENCIAS

- [1] S. Smith, “Intelligent buildings,” *Des. Constr. Build. Value*, ..., 2002.
- [2] A. Buckman, “What is a smart building?,” *Smart Sustain*. ..., 2014.
- [3] H. Arkin and M. Paciuk, “Evaluating intelligent buildings according to level of service systems integration,” *Autom. Constr.*, vol. 6, no. 5–6, pp. 471–479, Sep. 1997.
- [4] T. Derek and J. Clements-Croome, “What do we mean by intelligent buildings?,” *Autom. Constr.*, vol. 6, no. 5–6, pp. 395–400, Sep. 1997.
- [5] S. Millan, A. Ganah, A. García, F. Jiménez, and O. Higuera, “Background and approach to a definition of smart buildings,” 2014.
- [6] D. Dietrich, D. Bruckner, G. Zucker, and P. Palensky, “Communication and Computation in Buildings: A Short Introduction and Overview,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 11, pp. 3577–3584, Nov. 2010.
- [7] A. C. W. Wong, “Building automation in the 21st Century,” in *APSCOM-97. International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, 1997, vol. 1997, pp. 819–824.
- [8] S. Pedro, P. D. Laboratorio, P. Austral, U. Acad, C. Olivia, E. M. Laboratorio, I. Computacional, and S. Luis, “Identificación de individuos en Edificios Inteligentes,” 2007.
- [9] W. Granzer, F. Praus, and W. Kastner, “Security in building automation systems,” *Ind. Electron. IEEE* ..., 2010.
- [10] Steven T. Bushby, “Integrating Fire Alarm Systems with Other Building Automation and Controls Systems,” *Fire Prot. Eng.*, vol. Summer 200, pp. 5–11, 2001.

- [11] H. Ran, L. Sun, and X. Gao, "Influences of intelligent evacuation guidance system on crowd evacuation in building fire," *Autom. Constr.*, vol. 41, pp. 78–82, May 2014.
- [12] Q. Zhang, T. Chen, and X. Lv, "New Framework of Intelligent Evacuation System of Buildings," *Procedia Eng.*, vol. 71, pp. 397–402, 2014.
- [13] F. Osterlind, E. Pramsten, D. Roberthson, J. Eriksson, N. Finne, and T. Voigt, "Integrating building automation systems and wireless sensor networks," in *2007 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (EFTA 2007)*, 2007, pp. 1376–1379.
- [14] F. Osterlind and E. Pramsten, "Integrating building automation systems and wireless sensor networks," ... , *2007. EFTA. IEEE ...*, 2007.
- [15] C. Aghemo, L. Blaso, and A. Pellegrino, "Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices," *Autom. Constr.*, vol. 43, pp. 10–22, Jul. 2014.
- [16] M. Jung, C. Reinisch, and W. Kastner, "Integrating building automation systems and ipv6 in the internet of things," *Innov. Mob. Internet ...*, 2012.
- [17] S. Bushby, "BACnet TM: a standard communication infrastructure for intelligent buildings," *Autom. Constr.*, 1997.
- [18] W. Kastner, "Communication systems for building automation and control," *Proc. ...*, 2005.
- [19] L. Jiejia, P. Yang, X. Sun, and P. Guo, "Research on integration of building automation control system with BAC net based on OPC technology.," *J. Chem. ...*, 2014.
- [20] T. Perumal, M. N. Sulaiman, and C. Y. Leong, "ECA-based interoperability framework for intelligent building," *Autom. Constr.*, vol. 31, pp. 274–280, May 2013.
- [21] J. Bai, H. Xiao, X. Yang, and G. Zhang, "Study on integration technologies of building automation systems based on web services," ... , *Commun. Control. ...*, 2009.
- [22] S. Wang, Z. Xu, J. Cao, and J. Zhang, "A middleware for web service-enabled integration and interoperation of intelligent building systems," *Autom. Constr.*, 2007.
- [23] T. Perumal, A. Ramli, and C. Leong, "SOA-Based Framework for Home and Building Automation Systems (HBAS).," *Int. J. Smart Home*, 2014.
- [24] C. Tih-Ju, C. An-Pi, H. Chao-Lung, and L. Jyh-Dong, "Intelligent Green Buildings Project Scope Definition Using Project Definition Rating Index (PDRI)," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 18, pp. 17–24, 2014.
- [25] H. Doukas, K. D. Patlitzianas, K. Iatropoulos, and J. Psarras, "Intelligent building energy management system using rule sets," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 10, pp. 3562–3569, Oct. 2007.
- [26] J. Figueiredo and J. Sá Da Costa, "A SCADA system for energy management in intelligent buildings," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 85–98, Jun. 2012.
- [27] S. Leal, G. Zucker, S. Hauer, and F. Judex, "A Software Architecture for Simulation Support in Building Automation," *Buildings*, 2014.
- [28] D. Kolokotsa, A. Pouliezios, G. Stavrakakis, and C. Lazos, "Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 9, pp. 1850–1863, Sep. 2009.
- [29] B. Paris, J. Eynard, S. Grieu, T. Talbert, and M. Polit, "Heating control schemes for energy management in buildings," *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1908–1917, Oct. 2010.
- [30] A. I. Dounis and C. Caraiscos, "Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1246–1261, Aug. 2009.
- [31] A. Buckman, M. Mayfield, R. Meijer, and S. Beck, "Progressing for Intelligent to Smart Buildings," *13th Int. Conf. Enhanc. Build. Oper. Montr. Quebec, Oct. 8-11, 2013*, 2013.
- [32] D. Snoonian, "Smart buildings," *Spectrum, IEEE*, 2003.
- [33] Ji Li and Yue Zhang, "Intelligent Building Automation and Control Based on IndasIBMS," in *2013 International Conference on Service Sciences (ICSS)*, 2013, pp. 266–270.
- [34] E. A. Sierra, A. A. Hossian, R. García, and P. D. Marino, "Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente," pp. 446–452, 2005.



- [35] S. Wang, Z. Xu, H. Li, J. Hong, and W. Shi, "Investigation on intelligent building standard communication protocols and application of IT technologies," *Autom. Constr.*, vol. 13, no. 5, pp. 607–619, Sep. 2004.
- [36] T. A. Nguyen and M. Aiello, "Energy intelligent buildings based on user activity: A survey," *Energy Build.*, vol. 56, pp. 244–257, Jan. 2013.
- [37] Z. Zeng, R. Zhao, and H. Yang, "Micro-sources design of an intelligent building integrated with micro-grid," *Energy Build.*, vol. 57, pp. 261–267, Feb. 2013.
- [38] H. Wicaksono, S. Rogalski, and E. Kusnady, "Knowledge-based intelligent energy management using building automation system," in *2010 Conference Proceedings IPEC*, 2010, pp. 1140–1145.
- [39] C. E. Ochoa and I. G. Capeluto, "Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate," *Build. Environ.*, vol. 43, no. 11, pp. 1829–1839, Nov. 2008.
- [40] M. Mokhtar, M. Stables, X. Liu, and J. Howe, "Intelligent multi-agent system for building heat distribution control with combined gas boilers and ground source heat pump," *Energy Build.*, vol. 62, pp. 615–626, Jul. 2013.
- [41] V. Marinakis, H. Doukas, C. Karakosta, and J. Psarras, "An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector," *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 6–14, Jan. 2013.
- [42] J. Figueiredo and J. Martins, "Energy Production System Management – Renewable energy power supply integration with Building Automation System," *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 6, pp. 1120–1126, Jun. 2010.