



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Politècnica Superior d'Edificació
de Barcelona

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA EDIFICACIÓN TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

IMPLEMENTACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE EDIFICIOS (BMS) PARA EL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE: CASO DE ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO “AVILA60” EN BARCELONA

Proyectista/as: David Alejandro Ramírez Sánchez

Director/es: Jesús Viscarri

Convocatoria: junio 2024

RESUMEN

En la actualidad, la evolución de la tecnología se ha adentrado más y más en la vida de las personas y los entornos en los que desenvuelve, siendo el caso de dispositivos inteligentes y la inteligencia artificial (IA). Tal es el caso de los edificios, en donde desde hace años la gestión de la funcionalidad de sus elementos e instalaciones por medio de software como lo es el BMS, también se han visto impactados considerablemente por el avance de las nuevas tecnologías, internet, modelos 3D, la nueva y la IA. Pero a pesar de que la idea de un Smartphone o un SmartTV ya lleva tiempo en nuestro entorno, y hasta vuelto una normalidad, la definición de un Smartbuilding y sus alcances sigue por definirse, ya que la edificación y la operación de edificios existentes son tan variantes uno al otros, que es imposible hacer dispositivos o software genéricos para todos.

La implementación de la IA en los BMS sigue siendo nuevo en el mercado, y son pocos los edificios en el mundo que cuentan con esta nueva manera de gestionar inmuebles, ya que a pesar que sea una solución que da facilidad a los Facility Managers y Building Managers, de gestionar la operación de los edificios de una manera más eficiente y sostenible, el coste y los pasos que llevan a implementar esta tecnología, puede llegar a ser un reto, que los propietarios no quieren enfrentar en este momento ya que no hay una certeza de un retorno económico favorable.

En este Trabajo Final de Máster (TFM) se definen los elementos necesarios para poder llegar a implementar la solución de tener un modelo de IA en el BMS de un edificio real en Barcelona para poder lograr una operación adaptativa mediante algoritmos establecidos por un Machine Learning, y generar un ahorro en consumo energético y lograr establecer un mantenimiento predictivo para evitar el número de incidencias por averías en la gestión de inmuebles. Para esto el trabajo defino los conceptos básicos de la gestión de inmuebles, los softwares utilizados como el BMS, y su evolución a lo largo de los años, hasta la actualidad en donde los alcances son mucho mayores. Además de plantear las consideraciones económicas que deben de ser consideradas para su implantación y el posible retorno de inversión en la aplicación de un modelo económico de inversión de la solución en un caso de estudio real de un edificio en Barcelona, estableciendo por qué la implementación de la Inteligencia Artificial es conveniente en los softwares de gestión de edificios.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	NÚCLEO DE LA MEMORIA	6
2.1	Cómo se gestionan operativamente los edificios; conceptualización	6
2.1.1	¿Qué es el facility management y el building management?	6
2.1.2	Hard and Soft Facility Management	7
2.2	¿Qué es un BMS y como ha avanzado la tecnología para la gestión de los edificios?	10
2.2.1	Diferentes alternativas de softwares de gestión: BMS, BAS & SCADA	10
2.2.2	Composición de un BMS	12
2.2.3	Diferentes variantes de BMS y sus alcances	16
2.3	Gemelo digital: el potencial de conectar un BMS	18
2.3.1	¿Qué es el IoT y que impacto tiene que los BMS estén conectados?	18
2.3.2	¿Qué es un Smart building?	21
2.3.3	BIM y Digital twin	22
2.3.4	Factores internos y externos que mejoran la precisión de datos. Ocupación y ambientales	23
2.4	Inteligencia artificial, Machine Learning y Data analytics	26
2.4.1	Data Analytics	26
2.4.2	Inteligencia Artificial y Machine Learning.....	27
2.4.3	Aplicación de los modelos de Deep Learning en Smart Buildings	29
2.5	Situación en Barcelona. Tendencia por alcanzar el concepto de Smart City. 32	
2.5.1	Certificados Energéticos y Certificaciones Internacionales (LEED, BREEAM, WIRED SCORE)	32
2.5.2	Edificio Smart en el 22@: proyecto ejemplar y único de su tipo en la implementación de tecnología en Barcelona.	36
2.6	Modelo económico de inversión de la implementación de IA en un BMS: Avila60, Barcelona	38
2.6.1	Planteamiento de los alcances del análisis económico, y criterios de evaluación	38
2.6.2	Descripción del Edificio y su proyecto de rehabilitación integral	38
2.6.3	Memoria descriptiva del sistema de Regulación y Control (BMS).....	40
2.6.4	Descripción del complemento del sistema BMS con IA	42
2.6.5	Coste de la inversión: BMS con IoT y Complemento de IA.....	44
2.6.6	Coste de la Inversión Modelo de IA	45
2.6.7	Desglose del consumo energético previsto y el ahorro generado por la implementación del modelo de IA	46
2.6.8	Cálculo de la Tasa Interna de Inversión de la Implementación de IA (TIR y VAN)	48
3	CONCLUSIONES	52

4	AGRADECIMIENTOS	53
5	BIBLIOGRAFÍA	53
6	ANEXOS	55

GLOSARIO

22@	Distrito en Barcelona de innovación urbanística
AI	Inteligencia Artificial
BACnet	Tipo de protocolo de infraestructura de datos para el BMS
BAS	Building Automation System o Sistema de Automatizaición de Edificios
BIM	Building Information Modeling
BM	Building Management
BMS	Building Management System
BREEAM	Certificación europea de diseño y construcción sostenible
Chat GPT	Aplicación que implementa lenguaje de inteligencia artificial
CLOUD	Nube; almacenaje de información no físico
CO2	Oxido de carbono
Digital Twin	Gemelo digital
DL	Deep Learning
FM	Facility Management
Gateway	Salida de información o datos
Hard FM	Servicios duros del Facility Management
HVAC	Heating, Ventilation & Air Conditioning
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicators
LEED	Certificación estadounidense de diseño y construcción sostenible
ML	Machine Learning
Modbus	Tipo de protocolo de infraestructura de datos para el BMS
NN	Neural Network
Payback	Año donde el balance financiero se vuelve mayor a "0"
SCADA	Supervisory control and data acquisition
SGE	Software de gestión Energetica
Smart	Dispositivos inteligentes
Soft FM	Servicios duros del Facility Management
TIR	Tasa Interna de Retorno
WIFI	Red inalámbrica
Wired Score	Certificación de conectividad europeo

1 INTRODUCCIÓN

Los BMS son softwares utilizados de manera muy regular en los edificios hoy en día, sobre todo en edificios de tamaño mediano, hasta grandes edificios y complejos edificatorios. Sin embargo, es posible que no se esté explotando el verdadero potencial que puede alcanzar este tipo de software. Con el avance tecnológico, se ha abierto un sinfín de oportunidades para poder optimizar la eficiencia en la gestión de los edificios, alcanzando modelos de operación adaptativos y un ahorro sustancial en el consumo de energético de las instalaciones de un edificio.

Lamentablemente, a pesar de que la tecnología ha avanzado y ya existen en el mercado diverso tipo de soluciones de dispositivos y de software para todo tipo de inmuebles, solo las grandes corporaciones usualmente hacen efectivas estas oportunidades, y la mayoría de los propietarios de edificios de menor tamaño, prefieren no arriesgarse a tecnologías tan nuevas. En este trabajo se pretende explorar lo que actualmente existen en el mercado de soluciones de software de gestión de edificios, y lo que conlleva a poder implementar Inteligencia Artificial es estos softwares, para esto se hará un cálculo económico de inversión en un edificio real en Barcelona, y ver un margen real del impacto del uso de la IA en su gestión.

2 NÚCLEO DE LA MEMORIA

2.1 Cómo se gestionan operativamente los edificios; conceptualización

2.1.1 ¿Qué es el facility management y el building management?

La adquisición de activos inmuebles o edificios siempre ha sido una opción viable tanto para compañías de gran alcance económico como lo puede ser para una persona deseando invertir su dinero en una segunda residencia para obtener un beneficio económico. Pero dentro del proceso de inversión, se debe tener claro que aunque una edificación tenga la apariencia de ser resistente al tiempo como lo vemos en el día a día, con ejemplos como iglesias construidas hace siglos, monumentos que siguen siendo icónicos a lo largo del tiempo o incluso, edificios que han marcado la historia y siguen siendo emblemas de la ingeniería y la arquitectura como es el caso del Empire Estate, una edificación requiere de una serie de cuidados constantes para mantener la integridad de sus elementos a lo largo del tiempo, al igual que mantener el confort de los usuarios que interactúan con el edificio, a esta gestión se le define como Building Management (BM) o bien, la gestión de la edificación.

El BM es una de las áreas abarcadas por el Facility Management (FM). El FM, según definido por la International Organization for Standardization (ISO) es una disciplina de gestión enfocada en la logística y otro tipo de servicios obtenidos de manera eficiente y efectiva para el mantenimiento de propiedades inmobiliarias y edificación. Se consideran diversas áreas que emergen para asegurar la funcionalidad, confort seguridad y eficiencia del medio al integrar personas, lugares, procesos y tecnología. De manera más práctica, el rol que tiene el FM es valorar las diferentes necesidades de una propiedad y de los usuarios, y por medio de diferentes herramientas, lograr mantener un ambiente agradable y seguro, cuidando el impacto del uso de la propiedad en todos sus elementos.

De manera general, el FM abarca las siguientes áreas:

- Operación y mantenimiento
- Reparación, renovaciones y mejoras
- La gestión de los espacios

- Confort de los usuarios
- Sostenibilidad (impacto ambiental)



Fig 1. Las áreas más importantes en las que interactúa el Facility Management (fuente: Advenser, "BIM for Facility Management", 2024).

2.1.2 Hard and Soft Facility Management

El FM puede ser aplicado a cualquier tipo de bien inmueble y el tipo de uso que tenga este, pasando de un conjunto de viviendas hasta un complejo industrial de logística. Debido al número de factores que intervienen en el rol de un Facility Manager, una de las divisiones para catalogar el tipo de procesos y el tipo de soluciones que debe emplear el FM, es el Hard FM y el Soft FM.

Hard FM viene definido como la gestión de procesos para el mantenimiento de una propiedad, acatando las normativas aplicables y los conocimientos generales para el cuidado del edificio, como lo son los sistemas de alarmas contra intrusión e incendios (seguridad), los sistemas de instalaciones dependiendo del tipo de propiedad pero en su mayoría entran instalaciones de baja y media tensión, climatización, ventilación, sistemas de bombeo de suministro de agua potable e iluminación entre otros. También se ven los protocolos necesarios para la seguridad y salud dentro de la propiedad como planes de emergencia y señalización.



Fig 2. Mantenimiento preventivo de baja tensión como parte del Hard FM (fuente: Bellrock Group, “Facilities Management – The Differences Between Soft FM and Hard FM”, 2019).

A diferencia del Hard FM, el Soft FM se enfoca en servicios que no son requeridos por normativa, pero que pueden generar un impacto directo en la comodidad de los usuarios como el aseo, la gestión de los residuos generados por los usuarios para su traslado o bien, cualquier servicio dedicado al usuario. Las áreas abarcadas por el Soft FM no son imprescindibles para la integridad de la propiedad, sin embargo una gestión deficiente o inexistente de estos servicios puede crear conflictos en el entorno para los usuarios, o riesgos que podrían terminarse convirtiendo en un peligro a futuro.



Fig 3. Servicios de limpieza y aseo general como parte de las áreas del Soft FM (fuente: Frisco, “What’s Soft Services in Facilities Management?”, 2019).

El FM dedicado específicamente a los bienes inmuebles que son edificaciones (residencial o de oficinas más comunmente) es a lo que denominamos Building Management. Entonces podemos definir BM como una subcategoría del FM que se refiere a la operación, mantenimiento y

reparaciones de un edificio para mantener las condiciones ideales para los usuarios. Incluyendo desde todas las instalaciones y elementos del edificio, así como los servicios que afectan al confort de los usuarios, como se ha mencionado anteriormente en la definición de Hard FM y Soft FM.



Fig 4. División de tareas entre los servicios duros y blandos (Hard FM & Soft FM) del Facility Management (fuente: FMX, "What is Facilities Management?", 2024).

2.2 ¿Qué es un BMS y como ha avanzado la tecnología para la gestión de los edificios?

2.2.1 Diferentes alternativas de softwares de gestión: BMS, BAS & SCADA

Las edificaciones han cambiado mucho a lo largo de los siglos y no solo hablando de arquitectura, sino también de las instalaciones y servicios que puede ofrecer el edificio. Esto ha llevado que la labor de gestionar el mantenimiento de las propiedades ha sido una responsabilidad que ha existido un largo tiempo, y ha ido evolucionando adaptándose a las nuevas necesidades y a las nuevas herramientas existentes para lograr cubrir dichas necesidades como lo es un Building Management System, que de manera sencilla, es un sistema de control a base de un ordenador instalado en los edificios para monitorear y controlar los equipos mecánicos y eléctricos, como lo son la climatización, ventilación, iluminación, calentadores e instalación eléctrica, otorgando datos para eficientizar el uso de los sistemas monitoreados. Pero el BMS no fue el primer sistema de gestión para edificios.

Entre más se acomplejaron las instalaciones dentro de un edificio, más fue la necesidad de poder automatizar los procesos de revisión y cambios de consignas de los sistemas mecánicos y eléctricos. Alrededor de los años 70s fue creado el Building Automation System (BAS) que al igual que el BMS, cuenta con la capacidad de monitorear y controlar los sistemas eléctricos y mecánicos, sin embargo, no ofrece la posibilidad de analizar los datos para la toma de decisiones. Es decir, el BAS es un sistema puntual para propiedades de tamaño pequeño, posiblemente de un solo dueño donde no hay necesidad de escalar a un sistema de gestión tan complejo.

En su momento, los BAS ofrecieron la solución a poder desarrollar un sistema que regulara e integrara varias de las instalaciones en un edificio. El simple hecho de poder poner en marcha o inhabilitar un equipo de manera remota logró ahorrar mucho tiempo para los mantenedores de los edificios en cuanto a traslados, es el mismo caso para regular las temperaturas o potencias de los equipos incluidos en los edificios. Además, al tener centralizada información como las presiones, era posible detectar fallos en los equipos de manera más rápida que hacer una revisión periódica directamente.



Fig 5. Ejemplo de los primeros sistemas de gestión (fuente: Medium, “Building Management System: A comprehensive guide”, 2023).

Después en los 80s, fue desarrollado el Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), lo cual revolucionó la manera en que grandes industriales podían monitorear y control los sistemas de producción de manera remota, y el cual sigue siendo hasta el día de hoy. Se podría considerar que los SCADA son similares a los BMS, ya que cumplen con las mismas funciones y otorgan resultados similares, sin embargo los SCADA abarcan un mercado más industrial y su lugar de trabajo, mientras que los BMS se enfocan específicamente en la gestión de edificios.

Los SCADAs son sistemas compuestos por diferentes capas de elementos que recopilan información y actúan sobre los equipos.

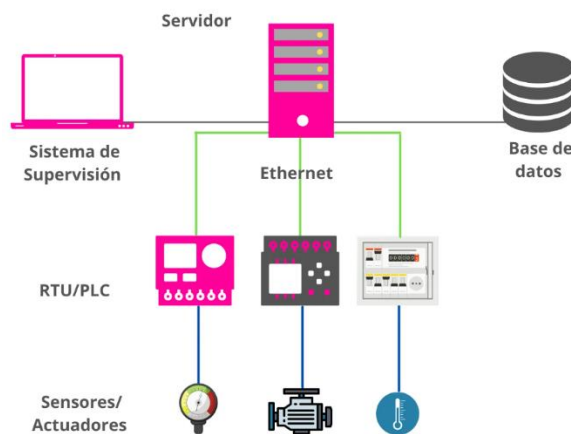


Fig 6. Diagrama de los componentes en un SCADA (fuente: NUNSYS, “¿Qué es un SCADA?: Control de Supervisión y Adquisición de Datos”, 2024).

En el diagrama anterior pueden determinarse los 3 rangos de elementos que componen a un SCADA, iniciando de abajo hacia arriba por los “Sensores y actuadores” que monitorean y actúan sobre los equipos. Estos van conectados a los paneles de control que podrían ser RTU (Remote Terminal Unit) o PLC (Programmable Logic Controller) dependiendo el tipo de SCADA, los cuales recopilan los datos obtenidos por los sensores y los terminan enviando a una base de datos, donde el sistema de supervisión ofrece al mantenedor el control de la instalación.

Ampliándose la cantidad de tipos propiedades y sus usos, hay una oferta diferente de herramientas de sistemas tecnológicos que se acomoda mejor a las necesidades específicas de cada situación. Esto no impide la integración de unos sistemas con otros, de acuerdo con la tecnología empleada en cada sistema y protocolos de comunicación, una empresa puede tener diferentes tipos de sistemas integrados en una plataforma, lo cual será explicado con detalle más adelante.

2.2.2 Composición de un BMS

El BMS fue desarrollado por la necesidad de no solo controlar y monitorear los sistemas de un edificio, sino también por la necesidad de tener un sistema capaz de adaptarse a las tecnologías evolutivas dentro del mundo de la construcción e instalaciones. Hasta la actualidad, los BMS también han ido evolucionando e incluso generando variaciones del sistema de acuerdo con las necesidades o bien, a las tendencias tecnológicas, dando como resultado diferentes tipos de BMS.

Antes de listar las diferentes versiones de los BMS, hay que definir de manera simple los distintos componentes que tiene el sistema. El BMS es un sistema independiente del edificio que cuenta con su propio hardware, software e infraestructura de conexión como se muestra en el Anexo 1.

Dentro de los elementos de hardware tenemos:

- Panel de control: es la central receptora del BMS. Es el elemento responsable en coleccionar los datos generados por los sensores, procesar y analizar los datos, y generar una interfaz de comandos para el control de los sistemas por medio de los actuadores. Normalmente

es utilizado un ordenador o un grupo de ordenadores donde está instalado el sistema llamado “supervisor” ubicado en alguno de los cuartos de control del edificio.



Fig 7. Interfaz de usuario de supervisor de BMS de Honeywell (fuente: Honeywell, “Software Solutions – Honeywell Building Management Systems”, 2024).

- **Sensores:** estos son dispositivos de sondeo que pueden medir diferentes parámetros dentro del edificio. Dependiendo lo que se requiera, se pueden implementar sensores que midan temperatura, humedad, ocupación, presión, consumo energético, etc. Estos dispositivos pueden ser conectados mediante cable, o bien por medio de WIFI.



Fig 8. Contador IoT de electricidad (fuente: Verdigris, “Products – AI Energy Meters”, 2024).

- **Actuadores:** estos dispositivos se encargan de aplicar los comandos definidos por el panel de control, como puede ser la activación o desactivación de algún equipo de climatización,

cambiar consignas de temperatura, prender o apagar luces. Estos pueden ser mecánicos o eléctricos dependiendo del sistema y elemento con el que interactuarían.



Fig 9. Válvula motorizada para la regulación de caudal (fuente: Turck Mexico, "Industrias y Soluciones", 2024).

Dentro de los componentes de software se enlistan de la siguiente manera:

- Sistema operativo: como todo sistema de gestión, se requiere un ordenador con un sistema operativo donde el software del BMS pueda ser instalado.
- Software de BMS: es la aplicación instalada dedicada a la gestión del edificio, o el corazón del BMS. Es donde se pueden visualizar los datos recolectados, ver tablas de análisis y configurar las reglas de control para los sistemas. En el mercado actualmente hay diversos softwares de BMS, con diferentes alcances y acabados estéticos. Grandes empresas de electricidad y climatización tienen sus propios softwares de BMS, entre ellas Schneider Electric, Siemens, Honeywell, etc. También empresas de ingeniería de instalaciones o incluso puede ser desarrollado por el mismo propietario.
- La interfaz de usuario: dentro del software del BMS, se definen niveles de acceso e interacción con el sistema. Desde el FM, o el operador del edificio, que necesitan tener acceso a todo lo relevante a los sistemas de edificio. Como acceso limitado para proveedores industriales o incluso el usuario final, por medio de paneles distribuidos por el edificio para saber información de los sistemas. Estas interfaces pueden ser desde el supervisor del BMS en el cuarto de control, o bien por portales web accesibles por medio de tables o smartphones.

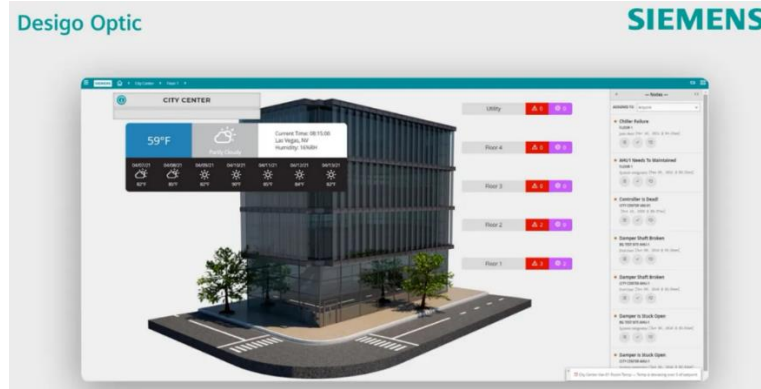


Fig 10. Interfaz de usuario para el monitoreo por planta del BMS “Desigo Optic” de Siemens (fuente: Siemens, “Desigo Optic”, 2024).

Finalmente, la infraestructura de comunicación del BMS que tiene los siguientes elementos:

- Red: es la infraestructura por la cual todos los componentes del hardware están conectados, del panel de control a los sensores y actuadores. Dependiendo a la tecnología implementada en los dispositivos de medición y control, la infraestructura puede ser cableada por Ethernet, o por medio de internet inalámbrico WIFI.

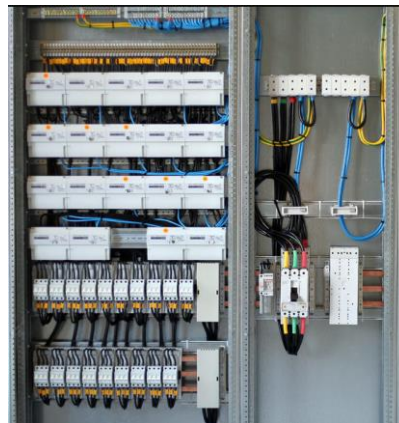


Fig 11. Cuadro de control de la infraestructura de un BMS para un hospital (fuente: Ethko Hospital Engineering, “La seguridad eléctrica del paciente: una guía básica”, 2023)

- Comunicación de salida (Gateway): una de las ventajas de la implementación de un BMS es que tiene la capacidad de apertura de protocolos, cada marca tiene su espectro de apertura tanto del software como el hardware, sin embargo es muy común encontrar que los sensores pueden ser de distinta marca o modelo de fabricación pero de fácil

integración por los protocolos empleados como Modbus, BACnet. Eso funciona de la misma manera para la comunicación de salida en cuanto a integración de otros sistemas de gestión como un SCADA, un Software de Gestión Energética (SGE) o bien los sistemas de ocupación o iluminación.

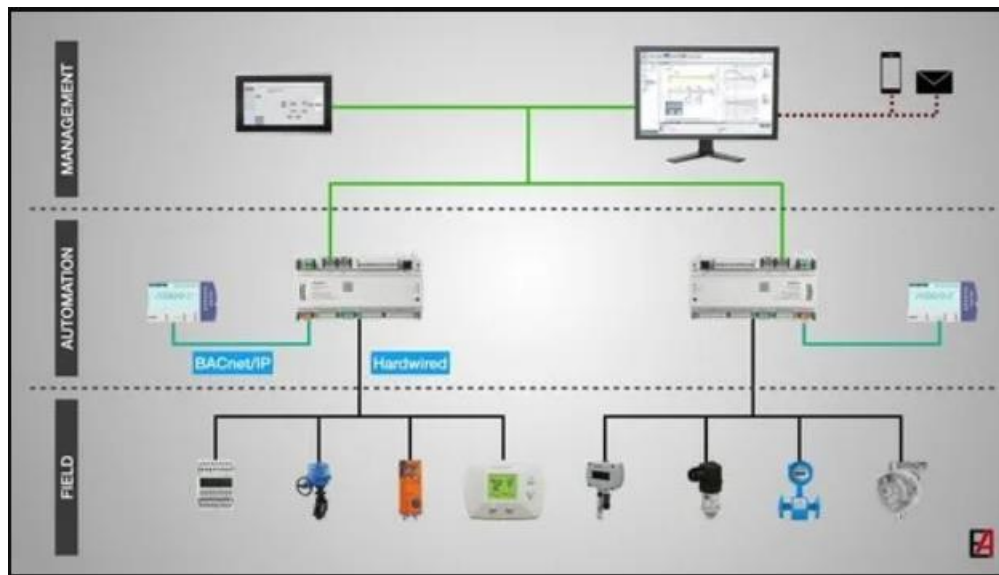


Fig 12. Diagrama que muestra los componentes de un BMS (fuente: Engineering & Automation, "BMS Building Management System - An Introduction... with basic features & history", 2021).

2.2.3 Diferentes variantes de BMS y sus alcances

Estos elementos al estar conectados hacen posible que el BMS cumpla como herramienta beneficiosa para el FM en la actualidad. Estos son la base para definir un BMS, pero dentro de cada tipo de elementos hay diversas variaciones que generan que un BMS pueda cumplir tareas básicas, hasta posibilitar que un edificio sea casi autónomo en su totalidad. Es por eso que los BMS viene clasificados de acuerdo con sus objetivos y usos. Dentro de los diferentes niveles que puede tener un BMS, los más destacables son los siguientes:

- Hay un tipo de BMS de integración simple para la gestión de un solo edificio donde normalmente el sistema solo es compuesto por un panel de control al que están conectados un número de sensores y actuadores dentro de las instalaciones del edificio.

Es el tipo de BMS más sencillo ya que su propósito es preestablecer alertas, consignas y puntos de control para el control en tiempo real del edificio, esta puede ser una solución adoptada en edificios pequeños o medianos.

- El segundo tipo de BMS cumple las mismas funciones del primero, pero a una escala de diversos edificios dentro de un cuadrante geográfico, tal es el caso de complejos industriales con diversas propiedades, un hospital o el campus de una universidad donde dentro de varias hectáreas, hay un conjunto de facultados, centros de convenciones, bibliotecas que necesitan gestión. La infraestructura de este BMS es similar al de integración simple ya que se implantan sensores y actuadores en todos los edificios a gestionar, y todos se conectan a un panel de control. Claro este BMS contaría con un número mayor de puntos de control y lectura a diferencia de un BMS que solo monitorea un solo edificio.
- El último tipo de BMS es más complejo y extenso ya que, desde que se hizo la conexión de los dispositivos al internet o el IoT, este cambio revolucionó la industria de la gestión de edificios otorgándole un potencial desconocido aún. En la actualidad este tipo de BMS tienen la capacidad de estar conectados a internet, dando la oportunidad a las empresas de la gestión remota desde cualquier ubicación de las propiedades.

El último tipo de BMS será el que profundizaremos más extensamente por su impacto en la industria en los últimos años ya que todos requieren estar conectados a internet, además que esto le brinda la posibilidad de evolucionar constantemente, conforme el IoT evoluciona.

2.3 Gemelo digital: el potencial de conectar un BMS

2.3.1 ¿Qué es el IoT y que impacto tiene que los BMS estén conectados?

La conexión a internet ha sido un cambio que ha impactado la vida de millones y millones de personas desde su inicio. El acceso remoto a herramientas, lugares y servicios ha sido un punto crítico en el desarrollo del ser humano, hasta el punto de volverse una necesidad en todo lo referente a la tecnología. Esto es un poco de lo que habla el Internet of Things (IoT), la posibilidad de generar una red de conexión entre cosas físicas por medio de sensores, dispositivos o software y conectarlos para el intercambio de datos con otros dispositivos y sistemas en el internet. Puede ser tan básico como un interruptor para encender una luminaria, hasta conectar en su totalidad en tiempo real un avión que vuela a través del océano Atlántico. Los dispositivos IoT han sido mejor conocidos por la terminología “Smart”.

Desde el Smartphone, Smartwatch y muchos otros ejemplos de dispositivos que solían tener funciones específicas, ahora al ser “Smart” siguen teniendo las mismas funciones, pero con la distintiva de estar conectados a esta red de millones de dispositivos en todas partes del mundo, o mejor dicho, está conectando el mundo físico como lo conocemos. Pero la importancia no yace solamente en los aparatos domésticos o personales, sino que se extiende ya sistemas más complejos como lo pueden ser desarrollos industriales, sistemas de transporte hasta el punto donde hay una tendencia de hacer una ciudad Smart o una SmartCity. Los edificios no son excepción para esta tendencia de conectividad que está arrasando en el mundo.

Pero ¿cuál es la intención de tener el mundo conectado? ¿Cómo funciona esta conexión? Los datos. El internet es lo que podríamos definir como infraestructura que conecta los dispositivos, unos con otros, de manera remota, pero los datos generados por cada dispositivo son lo que dan el valor a esta inversión que todas las empresas de todos los rubros están haciendo. Tal cuál lo vimos en la explicación sobre lo que es un BMS, los datos capturados por los sensores en los sistemas son recopilados y posteriormente analizados por el panel de control del BMS, temperaturas, porcentajes de humedad, etc.). El panel de control al recibir los datos, de acuerdo con sus parámetros y orígenes, representa los datos para mostrar información actual de los sistemas. Es el mismo caso del IoT pero a una escala global, de millones y millones de dispositivos conectados, generando datos que requieren ser gestionados.

De acuerdo con Alice Gomstyn y Alexandra Jonker de IBM en su artículo “¿Qué es una Smart City?” publicado en el 2023, define una ciudad inteligente como un área urbana donde la tecnología y la recolección de datos mejoran la calidad de vida, al igual que la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones dentro de la ciudad. Dentro de estas tecnologías esta incluido la tecnología de IoT.

El Departamento de Transporte de lo E.E.U.U. ha establecido 3 características necesarias para poder llevar a cabo el planteamiento de una ciudad inteligente, que son las siguientes:

- Redes: redes de sensores que recopilan e integran datos que pueden usar implementados en distintas aplicaciones y servicios.
- Conectividad: la conexión de los órganos gubernamentales con la comunidad para la gestión y monitoreo de la ciudad y sus necesidades.
- Transparencia de datos: todos los datos recopilados deben de ser de libre acceso para poder permitir a la comunidad aprovecharlos para el desarrollo de las ciudades y sus operaciones internas.



Fig 13. Servicios de una ciudad inteligente (fuente: Security Boulevard, “How IoT is Powering Smart Cities”,2020).

Para poder alcanzar estas características, las ciudades requieren de una serie de tecnologías que trabajen en conjunto para poder brindar soluciones de eficiencia y sostenibilidad. Gomstyn y Jonker enlistan las tecnologías de la siguiente manera:

- Tecnología de información y comunicación
- Internet de las cosas o IoT
- Automatización
- Inteligencia Artificial
- Transporte inteligente
- Energía inteligente
- Infraestructura inteligente

Aplicando esta filosofía a solo el sector inmobiliario, resulta muy similar el propósito de la obtención de datos para compartirlos y poder hacer eficiente las operaciones dentro de los elementos. Esta idea de la generación de datos ha existido ya por un largo tiempo, pero hasta la última década, la tecnología ha evolucionado hasta el punto de crear soluciones para poder entender lo que estos datos significan. Es donde las soluciones como las plataformas en la nube, análisis de datos y más actualmente, la implementación de la inteligencia artificial como Machine Learning Technology.

Todas estas soluciones han hecho que los BMS conectados al IoT, no solo puedan trasladar los datos remota e inalámbricamente a cualquier parte del mundo. Sino que dan soluciones para el resguardo y protección de los datos obtenidos por los sistemas como lo son los BMS (cloud-based) y eventualmente, un Digital Twin.

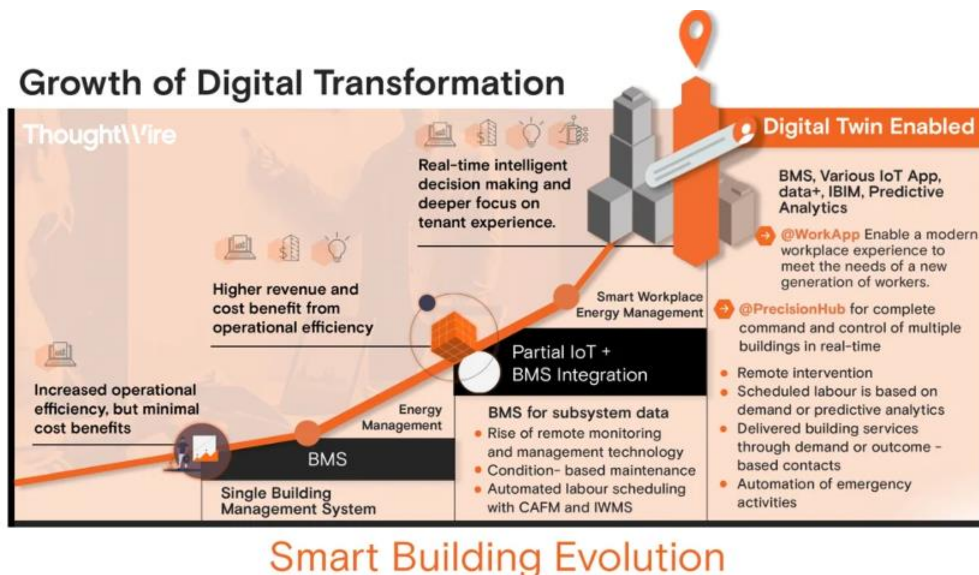


Fig 14. Evolución y características de los distintos tipos de BMS (fuente: ThoughtWire, "The Evolution of Building Management Systems, from Limited Control to a Fully Integrated Digital Twin", 2020).

2.3.2 ¿Qué es un Smart building?

Una vez entendido el cambio radical que ha provocado la implementación de la tecnología IoT en el Building Management, específicamente en los BMS, ¿cuándo puede ser considerado un edificio "Smart"? La definición de Smart Building en su forma más concreta es cualquier edificación que cuenta con la capacidad de monitorear, controlar y autorregular de manera integrada, todos los sistemas que lo componen. Esta definición es bastante simple de entender, sin embargo hay un rango inmenso de implementación tecnológica para poder lograr que un edificio sea autónomo en su totalidad. Entendemos que el BMS al estar conectado a internet por medio de sus dispositivos de medición y control, genera que la interacción con el edificio pueda ser de manera remota, integrando múltiples edificios incluso. Pero esto no lo hace un Smart Building, específicamente por la parte de autorregulación.

Para que el edificio pueda regularse así mismo, este requiere de estar conectado, generar datos de su interior, y recibir datos del exterior. Una vez recopilados los datos, requiere de poder procesar los datos del pasado, del presente y mostrar soluciones para el futuro. Sin esto y solamente implementando IoT en el edificio, la regulación viene de la decisión humana que este supervisando los edificios. Entonces para poder lograr que el edificio se regule así mismo, se requieren de diversas soluciones para generar y recibir más datos (BIM y conectividad con

sistemas externos), almacenaje de datos (Cloud) y procesamiento de datos (IA y machine learning).

2.3.3 BIM y Digital twin

El desarrollo de la metodología BIM ha aportado una herramienta valiosa para la planeación, el desarrollo y mantenimiento de los edificios en las últimas décadas. Como dice su nombre Building Information Modeling, los modelos resultantes generan información específica y abundante sobre el edificio desde antes que sea construido, al igual que una vez ya existente. Al tener una visualización 3D de todos los componentes de un edificio, se crea la disponibilidad de datos precisos sobre los sistemas involucrados en la operación de este. No obstante, tiene la limitación de que solamente es una visualización 3D fija, que da referencia de la ubicación y tipología de los elementos, pero no otorga datos en tiempo real de lo que sucede en el edificio. Cuando se unen los datos creados por este modelo digital 3D, y los datos generados por los sistemas de gestión como es el caso de un BMS con integración IoT, se logra generar un Gemelo Digital o Digital Twin, mencionado anteriormente, que da la oportunidad que un modelo BIM se pueda conectar eventualmente a un modelo de IA como se muestra en el Anexo 2.

Un Digital Twin de manera general es una réplica virtual de un producto, proceso o sistema. No es simplemente una visualización 3D del producto, sino que es un modelo digital que además de tener todas las características físicas que componen al producto, también están integrados todo el contexto en el cual el producto está situado. Esto quiere decir que se definen los factores que afectan al producto de manera interna y externa, y se obtiene un pronóstico del rendimiento real.

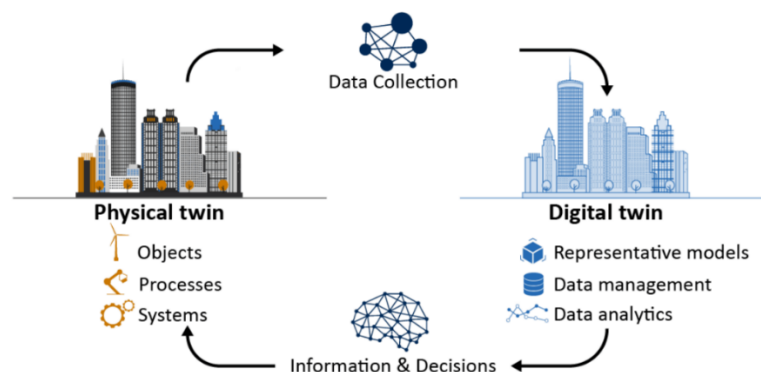


Fig 15. Conexión entre un gemelo digital y un elemento físico (fuente: Arrival3D, " 3D DIGITAL TWIN", 2024).

Los Digital Twins empezaron a usarse en una escala más pequeña con elementos aislados como lo pueden ser turbinas o motores de avión, estableciendo los parámetros reales de operación y así detectar anomalías de funcionamiento de acuerdo con diferentes escenarios. Otro resultado de gran importancia es que además de anomalías de funcionamiento, también es posible generar un mantenimiento predictivo para poder incrementar la vida útil y fiabilidad de los productos.

En los últimos años, los Digital Twins han crecido a una escala de no solo ser aplicables a un solo producto o elemento, sino que también a sistemas más complejos con el propósito de entender como activos, personas y flujos de trabajo interactúan para dar resultados económicos, e incluso monitorear KPIs.

Los edificios forman parte de estos últimos sistemas en donde la tecnología Digital Twin ha sido aplicada. Por medio de los modelos existentes BIM donde se tienen todos los datos necesarios de parte del edificio físico existente, y en combinación con los sistemas de gestión de las instalaciones, de seguridad y de ocupación como es el BMS conectado con dispositivos IoT, se puede visualizar un edificio y monitorearlo de acuerdo con diferentes escenarios. Para esto, la implementación de los softwares y hardware de la gestión de la ocupación toman un papel muy importante en lo preciso que puede ser un Digital Twin.

2.3.4 Factores internos y externos que mejoran la precisión de datos. Ocupación y ambientales

Como se mencionó en el inicio de este documento, el Facility Management se divide en Hard y Soft, en donde el BMS normalmente ha tenido como objetivo la gestión del edificio y su infraestructura de instalaciones, pero por más que cuente con un modelo digital BIM, y este conectado al IoT, es necesario para poder tener información real del uso del edificio, se necesita calcular el factor humano.

La gestión de ocupación es cuando por medio de sensores y actuadores, se recopila la información sobre cuantas personas entraron a que espacios, durante cuánto tiempo, que servicios ocuparon, e incluso a futuro, con funciones de reservar salas y escritorios. La información sobre la ocupación de un edificio determina como funcionarán las instalaciones y cuando no están funcionando eficientemente, como sería el caso que cuando la ventilación o la climatización no está bien calibrada, las personas no ocupan esos espacios, o si hay mobiliario o

contactos de baja tensión defectuosos, son los menos usados. Todos estos datos pueden ayudar a entender el flujo de trabajo por el cual un edificio es sometido, y por ende, si esta información es bien analizada y representada, pueden dar como resultado un mantenimiento predictivo, esto es, saber cuándo se va a tener que reparar algo, tiempo suficiente antes de que suceda.

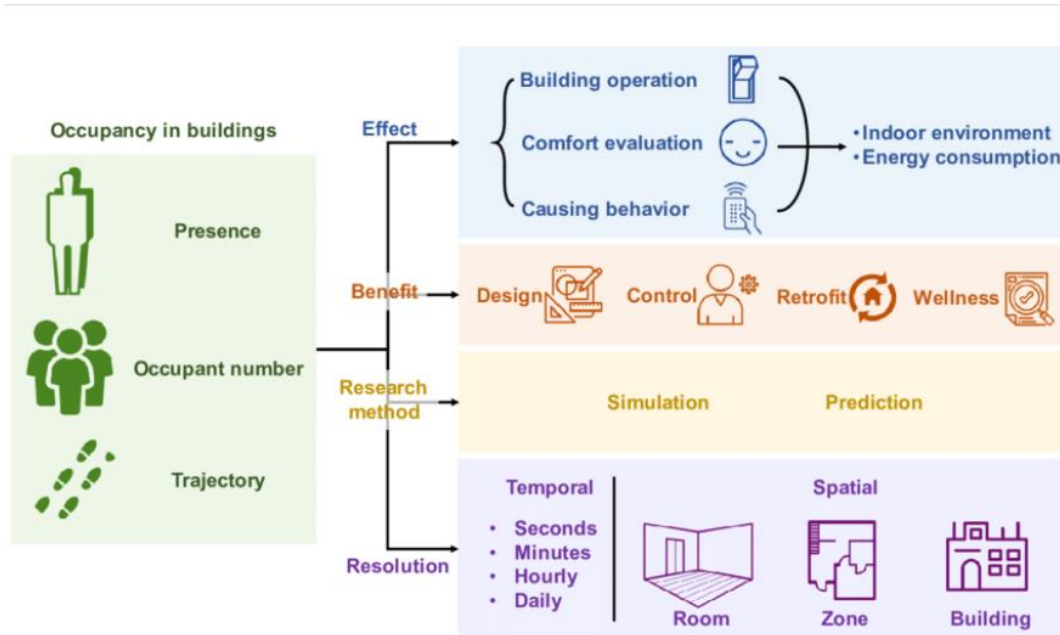


Fig. 16 Factores de implementar la gestión de la ocupación en un edificio (fuente: Yan, D., "Building occupancy forecasting", 2021).

Es el mismo caso para todos los factores ambientales externos que a pesar de que no forman parte integral de la infraestructura del edificio, también tienen un papel muy importante para el desempeño de los sistemas en cuanto a su rendimiento y su desgaste.

Los factores meteorológicos cuentan con sus métodos de medición y predicción, como lo son temperaturas medias, precipitaciones, rayos UV, calidad del aire, etc. Los sistemas urbanos necesitan tener conocimiento de como el ambiente actuará para saber cómo plantear mejoras en los planes urbanos de acuerdo a los cambios más relevantes que tiene el entorno. Y la implementación de la tecnología IoT ha impactado en como las ciudades son gestionadas. Dentro del mundo "Smart", las Smart cities cuentan con sus propias metas y proyecciones a futuro, donde los gobiernos han invertido más y más en conectar y generar la mayor cantidad de datos posibles en tiempo real, sobre lo que sucede en la ciudad.

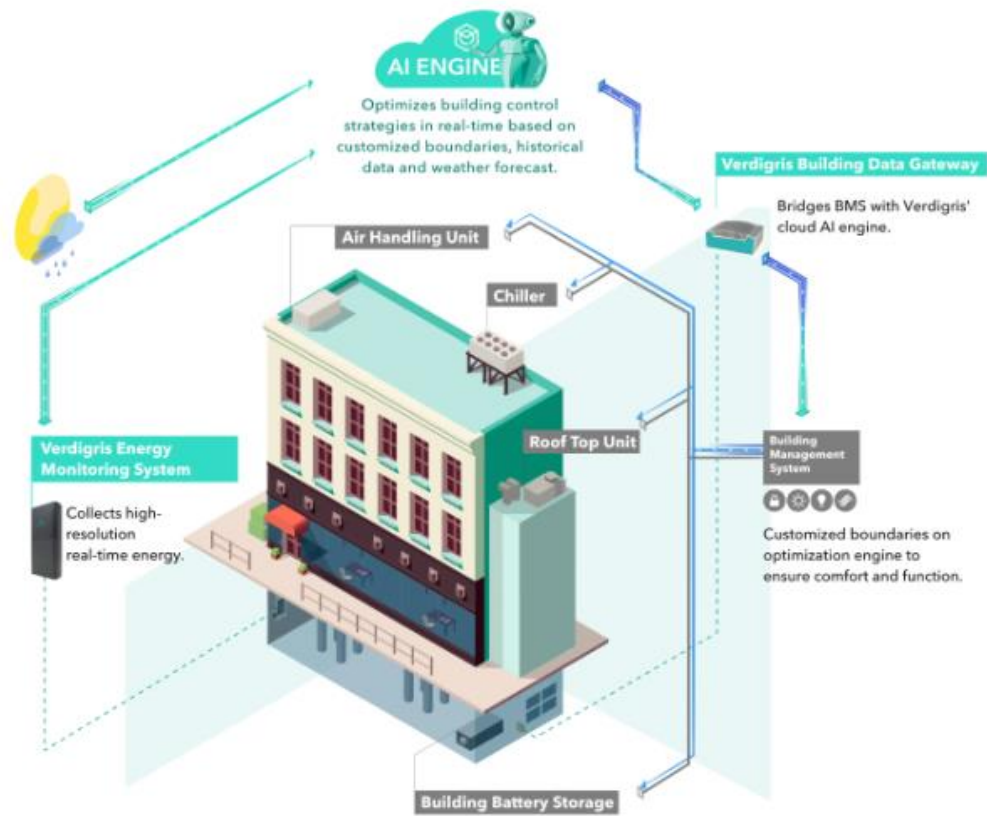


Fig. 16 Implementación de un modelo de IA en un edificio para un sistema de HVAC (Verdigris, "Solutions", 2024).

Estos datos normalmente tienen disponibilidad para los ciudadanos, y como es el caso de un edificio, el saber en tiempo real cual es la temperatura exterior, y la calidad del aire, son indicadores que podrían facilitar de manera más eficiente el desempeño de los sistemas de climatización y de ventilación, o como es el caso de los rayos UV o la velocidad del viento, el aprovechamiento de las energías renovables que podrían ser captadas dependiendo las instalaciones de los edificios.

2.4 Inteligencia artificial, Machine Learning y Data analytics

Todos estos datos generados por los factores humanos de ocupación, y por los factores ambientales externos al edificio, al ser agregados a los sistemas de gestión del edificio, nos brindan un gemelo digital cada vez más real de cómo opera el edificio, y nos puede dar información de como modificar su funcionamiento acorde con las necesidades del día a día. Pero para poder considerar un edificio, un Smart building, según con la definición mencionada anteriormente, queda lograr que el edificio sea autónomo.

Tomaría el trabajo de un equipo completo de Building Managers para poder gestionar todos estos datos todos los días, cambiando potencias, flujos, presiones, iluminación de acuerdo con los datos obtenidos en cada momento por los sistemas complementarios de ocupación y ambientales. A pesar de que si se lograra eficientizar los sistemas de instalaciones, esa eficiencia no llegaría a los sistemas de gestión por la demanda de trabajo y atención que los BM deben de tener en el edificio. No es rentable tener a un operador técnico que prenda la iluminación todos los días de acuerdo en que horario es el amanecer. El edificio debe de ser capaz de generar los datos, recopilarlos, recibir datos de sistemas externos, analizarlos y posteriormente, tomar sus propias decisiones controlando los sistemas para dar soluciones a las necesidades de cada minuto del día.

2.4.1 Data Analytics

La autonomía definitiva por medio de la tecnología vendría de 2 herramientas muy comúnmente escuchadas en la actualidad. Data Analytics y la IA. El primero será para la recopilación de los datos, su clasificación y su simplificación, y la segunda para generar un análisis cognitivo artificial para poder tomar decisiones con los datos obtenidos.

La obtención de datos es muy importante para todo el proceso de la automatización de un edificio, y el BMS, por medio de los sensores, o las bases de datos externas, generan suficiente información en forma de datos para obtener la respuesta, sin embargo, estos datos siempre han existido. Lo complicado es simplificarlos como se muestra en el Anexo 3.

El análisis de datos o Data Analysis entra en con un rol muy importante para que la IA pueda tomar las decisiones que lleven a un mejor rendimiento y eficiencia en los sistemas del edificio.

Es por eso que por medio de los algoritmos establecidos la ciencia del análisis de datos, estos pueden alimentar el modelo que la IA va a utilizar para poder hacer la toma de decisiones. De todos los datos introducido al algoritmo del análisis de datos, estos pueden ser clasificados de manera que puedan verse de un desde un panorama mayor, y así ser interpretados por un ser humano o por un modelo de Machine learning.

La salida de estos datos puede ofrecer las siguientes cualidades de los sistemas de un edificio:

- Panorama a gran escala de los resultados de las operaciones dentro del edificio
- Calidad del aire dentro y fuera del edificio
- Determinación de periodos de ahorro en consumo energético
- Eliminación de residuos o merma en las instalaciones
- Información específica de cada equipo o máquina para la previsión de fallas y mantenimientos

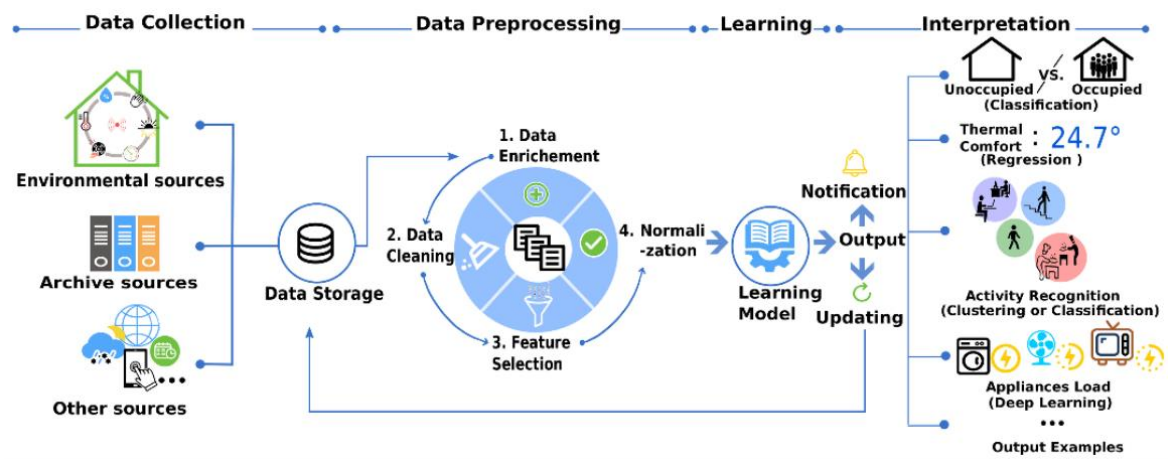


Fig. 17 Proceso de recolección de datos para su procesamiento e interpretación en un edificio (fuente: Djenouri, D., "Machine Learning for Smart Building Applications", (2019).

2.4.2 Inteligencia Artificial y Machine Learning

El último paso para lograr esta autonomía es lo que llamamos el Machine Learning y la implementación de la inteligencia artificial (IA).

Los conceptos de IA y Machine learning has estado presente en el mundo de la ciencia computacional desde hace décadas, pero últimamente ha habido un auge al estar más presentes en nuestro día a día con productos como Chat GPT, Alexa o Siri en el Iphone de Apple, entre muchos otros. Pero ¿cómo puede implementarse esta tecnología en los edificios?

De manera simple, la Inteligencia Artificial es una tecnología que permite que las computadoras y maquinas puedan simular la inteligencia humana y tener la capacidad de resolver problemas, evitando la intervención humana. Para simular esta inteligencia humana, se definen algoritmos basados en el proceso de la toma de decisiones de un cerebro humano y así, utilizando datos, se crean predicciones o clasificaciones. A estos modelos de algoritmos es lo que se le llama Machine Learning y Deep Learning.

Machine Learning es una de las muchas disciplinas de la IA, y dentro del campo de los modelos de algoritmos del Machine Learning, tenemos la subdivisión del Deep Learning. Para poder igualar el proceso de aprendizaje de un cerebro humano, el ML y DL utilizan Neural Networks para aprender de los datos que tienen disponibles. Estas NN son capas y capas de nodos interconectados que clasifican los datos, y generan una trayectoria de decisión de acuerdo con el análisis de estos datos. La diferencia entre ML y DL es la cantidad de capas en sus NN para la toma de decisiones, ya que entre más básico sea el algoritmo, más asistencia humana necesitaría, sin embargo el DL tiene tantas capas necesarias para cumplir con todo tipo de datos no esperados, generando independencia con un margen de error menor.

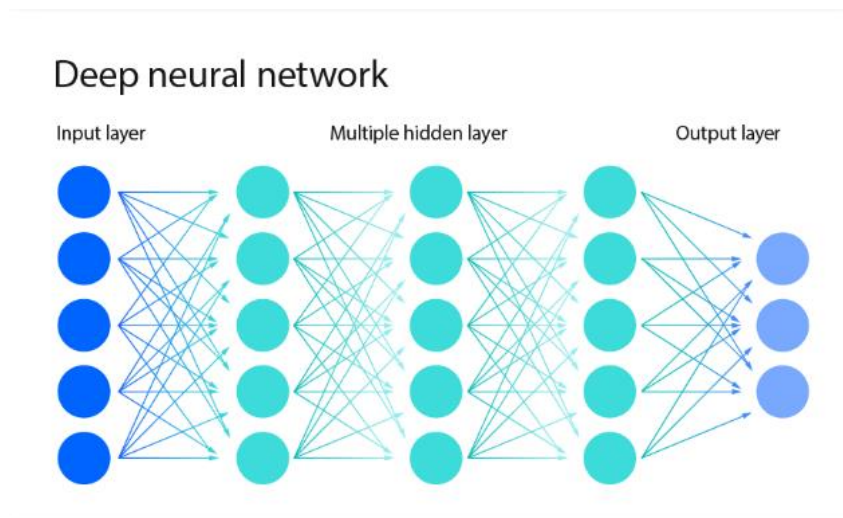


Fig. 18 Demostración ejemplar de las capas que puede tener un Deep Neural Network (fuente: Medium, "Hello, World #9: Neural Networks explained in depth in plain English", 2023).

Actualmente, hay diversas aplicaciones de estos modelos de algoritmos en la vida diaria de las personas como lo son:

- Reconocimiento de voz
- Servicio al cliente
- Análisis visual
- Cadena de suministro
- Predicción meteorológica
- Detección de anomalías en equipos y sistemas

Model Building Automation

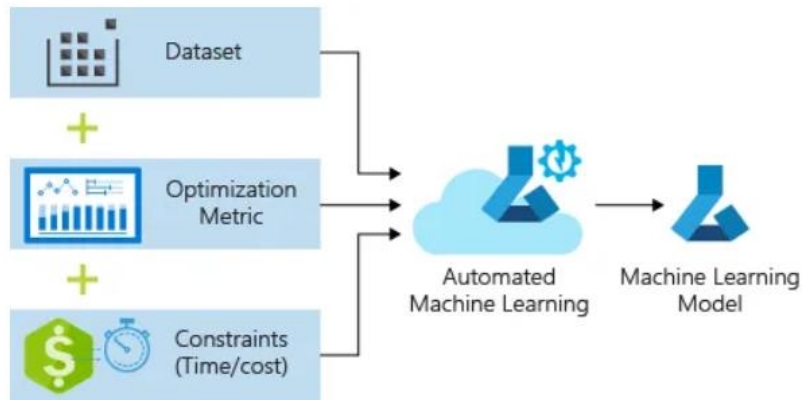


Fig. 19 Factores de implementar la gestión de la ocupación en un edificio (fuente: IT Masters Magazine, "Automated Machine Learning: la próxima generación de inteligencia artificial", 2019).

2.4.3 Aplicación de los modelos de Deep Learning en Smart Buildings

Estableciendo la extensión actual de las capacidades que podría tener un edificio al contar con un Gemelo Digital, alimentado por una base de datos en tiempo real. Entendemos que podemos analizar estos datos para que el FM tome las decisiones adecuadas para lograr obtener la mejor eficiencia de los sistemas, el menor coste por imprevistos y el confort de los usuarios.

A pesar de que lograr que un edificio sea 100% autónomo es considerado todavía una fantasía, la implementación de IA puede alcanzar a reducir el nivel de costes, aumentar la eficiencia y hacer un impacto ambiental relevante para las ciudades.

Al aplicar un modelo de IA en un sistema de gestión de edificios, este puede lograr hacer:

- Análisis del comportamiento de los sistemas
- Identificación de tendencias de acuerdo la ocupación
- Toma de decisiones de manera automática para la corrección de anomalías o prevención de fallos
- Aprendizaje por el histórico de datos generados por los sistemas al paso de los años

Todas estas prestaciones brindadas por la implementación del IA cambian por completo los retos a los que se enfrenta el FM en el día a día. Con la identificación de tendencias y el análisis del comportamiento de los datos, se pueden establecer consignas de horarios de usos más precisas, además que puede aplicarse un mantenimiento Predictivo como una de las diferentes aplicaciones que tiene como se muestra en el Anexo 4.

Usualmente en el FM, hay 2 tipos de mantenimientos para los sistemas, el mantenimiento preventivo el cual son las inspecciones y actuaciones en los sistemas y equipos hechos periódicamente establecidas por el fabricante. Estos periodos son definidos por la vida útil estimada de los elementos, sin embargo no es posible considerar el uso específico que tiene cada edificio para estos elementos. El mismo equipo de aire acondicionado puede ser usado durante más horas en un edificio que en otro llevando al primero, a un deterioro más rápido y falla.

El segundo es el mantenimiento correctivo que se encarga de solucionar todos los fallos una vez que ya pasaron. Es la reparación y reposición de estos elementos que después de un uso excesivo o inadecuado, tienden a tener un funcionamiento erróneo, generando rendimientos menores al previsto o incluso paros completos del sistema.

Por medio de la IA y el procesamiento de los datos en tiempo real, puede alcanzarse el mantenimiento predictivo, que de acuerdo a las tendencias específicas de uso de los sistemas en el edificio, el gemelo digital alimentado por el BMS y la IA, puede dar a conocer el desgaste

real de los sistemas, prediciendo una fecha de mantenimiento adecuada de acuerdo a cada elemento.

Esto puede significar:

- La reducción de los mantenimientos correctivos, que usualmente son más costosos
- Reducción de paros en los sistemas y deficiencias
- Mejorar el confort de los usuarios al utilizar las instalaciones
- Ahorro energético disminuyendo costes
- Disminución de las emisiones de CO2

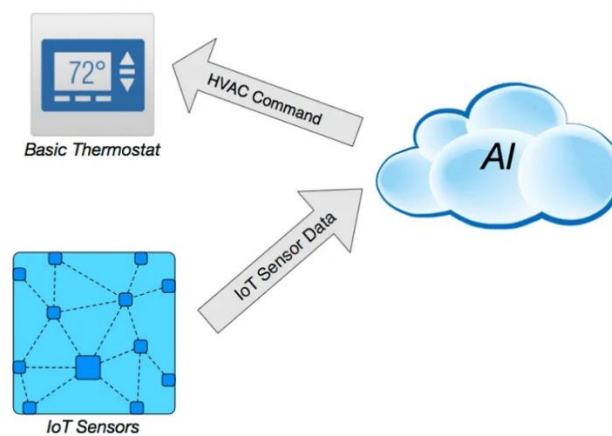


Fig. 20 Proceso que tienen los datos para poder generar comandos a dispositivos de HVAC con IA (fuente: Medium, "The Role of Machine Learning in Building Automation", 2023).

2.5 Situación en Barcelona. Tendencia por alcanzar el concepto de Smart City

2.5.1 Certificados Energéticos y Certificaciones Internacionales (LEED, BREEAM, WIRED SCORE)

Al igual que muchas ciudades europeas, Barcelona tiene una tendencia a mejorar la calidad de vida de sus habitantes al integrar soluciones de urbanismo y aprovechamiento energético. La accesibilidad, conectividad y ahorro energético son unas de las muchas implantaciones que está haciendo la ciudad para alcanzar la meta de convertirse en una ciudad inteligente. Pero ¿Qué es una ciudad inteligente?

Según la comisión europea la definición de Ciudad Inteligente es un lugar donde las redes y servicios son más eficientes con el uso de soluciones digitales para el beneficio de los habitantes y el comercio. Una ciudad que implementa la tecnología para tener un mejor uso de los recursos disponibles y generar menos emisiones. Al igual que mejorar la red de abastecimiento de agua potable, gestión de residuos, y la eficiencia del consumo de luz y climatización en edificios. Tomando en todo lo que hemos visto para llegar a definir un Smart Building, la definición es muy similar para una ciudad, siendo esta un conjunto de edificios.

Para esto Barcelona ha sido un ejemplar por su gestión urbanística y su innovadora manera de plantear soluciones para aprovechar espacios, recursos y estar a la vanguardia tecnológica en la organización de sus servicios. Específicamente hablando de edificios, Barcelona ha implementado regulaciones de construcción que promueven que los edificios nuevos o ya existentes, tengan que cumplir con ciertos parámetros de eficiencia energética para poder ser aceptados como lo es el Certificado Energético.

El Certificado Energético tiene como propósito generar una conciencia en el mercado inmobiliario del impacto que puede tener una vivienda, o edificio entero en el ambiente. Esto es por medio de un certificado que de acuerdo con un análisis de las características del inmueble, se determina una calificación dentro de un rango de la “A” a la “G” donde, la “A” es una calificación de eficiencia excelente y la “G” de una eficiencia energética muy deficiente. Dentro del certificado también se

establecen métricas del consumo de energía promedio (kWh/ m2 al año) y de emisiones de CO2 (kgCO2/m2 al año).



Fig. 21 Ejemplo de certificado energético de vivienda en España (fuente: CP Grupo, “Certificado energético: Calificación A”, 2015).

Esta iniciativa tiene origen cuando fue propuesto por el parlamento europeo en la directiva 2002/91/EC como una implementación, pero posteriormente en el 2013, se hizo obligatorio otorgar algún tipo de certificado de establezca las características ambientales de los inmuebles. España adoptó esta norma en el Real Decreto 235/2013 para impulsar al país en una trayectoria más eficiente y sostenible en el mercado inmobiliario, involucrando a los compradores o inquilinos de las viviendas.

Estos parámetros cubren desde elementos estructurales, como muros o forjados, hasta elementos arquitectónicos como ventanas y fachadas como se puede ver en el impacto de diferentes tipos de fachadas, y su reducción de consumo energético dependiendo de la ubicación en la que se encuentre como muestra el Anexo 5. Las instalaciones también son reguladas con bastante profundidad, mostrando la importancia de tener un buen sistema de gestión en los edificios. Al ser una capital cosmopolita, donde diversas de las más grandes empresas del mundo se sitúan, de manufactura y tecnología, los constructores y promotores inmobiliarios no solo quieren cumplir con los mínimos requisitos impuestos por el Ayuntamiento de Barcelona, sino que

actualmente se están construyendo edificios equipados con los mejores sistemas de gestión empezando desde el BMS, para tratar de obtener la mejor puntuación en los certificados gubernamentales, y externos como los son LEED y BREEAM.

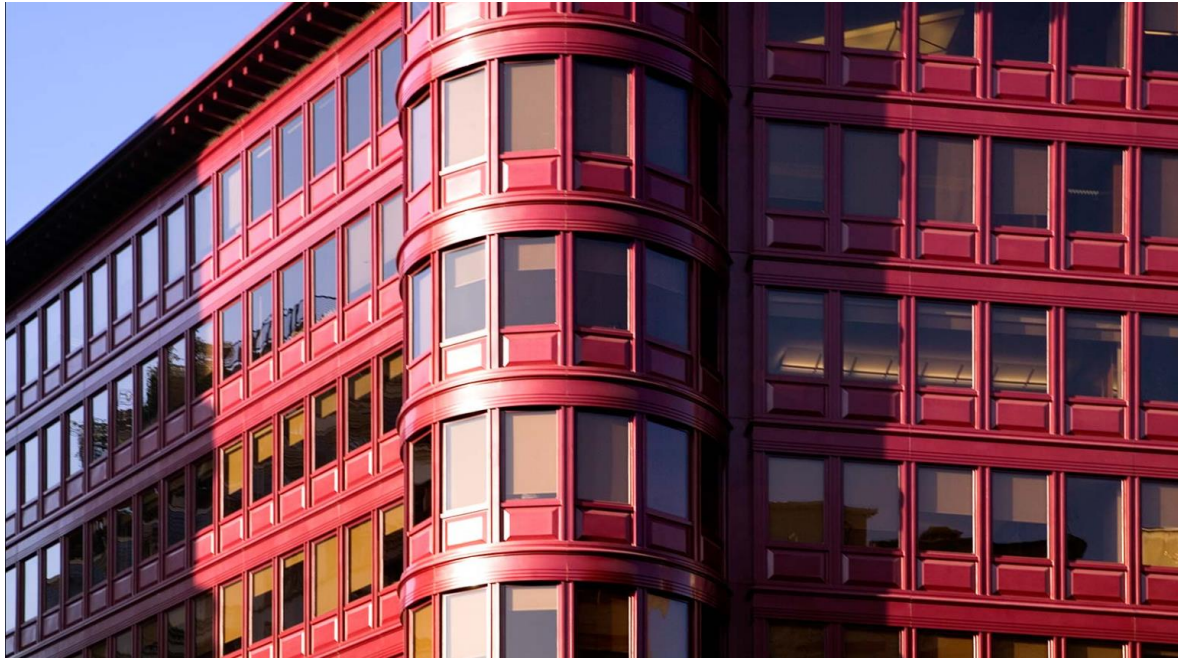


Fig. 22 Edificio ubicado en Diagonal 514, con certificación LEED Gold (fuente: US Green Building Council, “Diagonal 514”, 2017).

Paralelamente a la implementación del certificado energético y a las regulaciones por parte de los gobiernos, se han ido creando organizaciones sin fines de lucro que tienen como objetivo impulsar a los desarrolladores inmobiliarios a dar un valor añadido a sus inmuebles al tener en cuenta el bienestar ambiental durante el proceso de diseño, construcción y operación de los inmuebles. Tal es el caso de “US Green Building Council”, formado en 1993, el cual estableció un criterio para calificar los inmuebles impulsando la salud, igualdad, resiliencia, sostenibilidad y prosperidad en las comunidades y en el mundo. A este criterio de calificación se le conoce como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), el cuál es el más usado en la actualidad en todo el mundo.

Dentro de la certificación, los edificios o inmuebles tienen un estudio en diferentes áreas donde inclusive se hacen simulaciones energéticas de la climatización de acuerdo con el sistema

propuesto y el uso aplicado como se puede ver en el ejemplo incluido en el Anexo 6, considerando diferentes factores como la densidad de personas, la potencia de los equipos, las consignas de temperatura, etc.

Los criterios de calificación de LEED abarcan las siguientes áreas:

- Sitios sostenibles
- Eficiencia del agua
- Energía y Ambiente
- Materiales y Recursos
- Calidad Ambiental Interior
- Innovación en el Diseño
- Prioridad Regional



Fig. 23 Criterios de calificación para la certificación LEED (fuente: IDP, "IDP se convierte en miembro Silver del U.S. Green Building", 2024).

Una vez solicitada la certificación, es posible obtener diferentes niveles de certificación LEED de acuerdo con los puntos que se cumplen como se muestra en la siguiente tabla:

Niveles de la Certificación LEED	
Tipo de Certificado	Puntos Necesarios
Certificación LEED Estándar	40 – 49
Nivel Silver	50 – 59
Nivel Gold	60 – 79
Nivel Platinum	80 +

Tabla. 1 Requerimientos de puntuación para las diferentes certificaciones LEED (fuente: USGBC, “LEED”, 2024).

2.5.2 Edificio Smart en el 22@: proyecto ejemplar y único de su tipo en la implementación de tecnología en Barcelona.

Siendo Barcelona una de las ciudades con mayor impulso en urbanismo e innovación de accesibilidad y conectividad para cubrir las necesidades de los habitantes, el desarrollo inmobiliario se ha adherido a esta tendencia por generar una Smart City. Dentro de Barcelona, existe un distrito llamado el 22@ el cuál ha sido un proyecto urbano de convertir gran parte de la ciudad, en un centro de renovación de viejas fabricas industriales a edificaciones ejemplares en diseño e innovación tecnológica.

En el 22@ existen varios o conjuntos de edificios que han construido a lo largo de esta última década donde se han implementado los más altos estándares de certificación energética y certificados externos como el LEED, BREEAM y WIRED SCORE. En el 2022, se terminó uno de los edificios que en ese momento era considerado el primer edificio inteligente o Smart Building de España. ¿Pero qué es lo que diferencia a este edificio a los demás?

Al igual que muchos otros desarrollos inmobiliarios actuales, tanto en España como en todo el mundo, el edificio Smart integra los mejores sistemas de control en cada uno de sus ámbitos, como es el control de las instalaciones por medio de un BMS, control de seguridad, control de accesos, etc. Pero otros edificios también integran todo este tipo de sistemas, la diferencia es la integración de todos estos sistemas en un centro de control que puede ser gestionado desde una sola plataforma, la cual es accesible a los usuarios para gestionar su ocupación en su totalidad.

Como ejemplo podemos plantear que un usuario puede gestionar desde una sola aplicación, la reserva de un salón de juntas, al igual que controlar la iluminación del mismo, y enviar invitaciones a externos para que entren por el control de accesos. De igual manera pueden revisar que plazas de aparcamiento están libres o reportar una incidencia de un malfuncionamiento de cualquiera de los elementos del edificio.

Esto es posible debido a que el equipo de implantación tecnológica que desarrollo el sistema de gestión del edificio, integro todos los datos obtenidos por cada uno de los sistemas y los recopilo para analizarlos y poder dar respuesta tanto a los gestores del edificio para responder a cualquier incidencia relacionada con todos los elementos del edificio, al igual que una interfaz de usuario, donde estos pueden interactuar sabiendo en tiempo real lo que sucede en el edificio.



Fig. 21 Edificio SMART ubicado en el 22@ en Barcelona (fuente: Archdaily, "Edificio Smart 22@ / GCA Architects", 2023).

2.6 Modelo económico de inversión de la implementación de IA en un BMS: Avila60, Barcelona

2.6.1 Planteamiento de los alcances del análisis económico, y criterios de evaluación

Para demostrar la viabilidad económica de la implementación del modelo de IA en un BMS, será utilizado un caso estudio de un proyecto real en la ciudad de Barcelona. Para este estudio económico se considerarán los siguientes factores:

1. Se considerará como inversión de BMS al complemento de tener un BMS con dispositivos IoT, estableciendo que la mayoría de los edificios de oficinas cuentan con un BMS básico
2. Se considerará un periodo de 10 años para la inversión.
3. Se considerará una tasa de interés del 21%, para cubrir índices inflacionarios, riesgos y utilidades de inversión como margen general.
4. Se considerará solamente el consumo energético promedio de acuerdo con el certificado energético existe, sin importar que posiblemente el edificio cuente con una eficiencia mejor por tener instalaciones nuevas
5. Se considerará que el consumo total es por las instalaciones mencionadas en la memoria descriptiva, sin profundizar la repercusión porcentual de cada instalación.
6. Se considerará un aumento del coste de la energía de un 4.5%, siendo la media establecida por una distribuidora eléctrica

2.6.2 Descripción del Edificio y su proyecto de rehabilitación integral

El edificio por estudiar se encuentra actualmente en proceso de rehabilitación integral, ubicado en el 22@, Barcelona. Es denominado como AVILA60 por su ubicación en la calle Ávila 60-64, Sant Martí en Barcelona, España. Este solía ser un edificio de oficinas, y se planea tener el mismo uso después de la rehabilitación.

El edificio cuenta con aproximadamente 4.047,17 M2 y distribuidos en 1 planta sótano, planta baja con vestíbulo, planta tipo 1, 2 3, 4 y una planta de cubierta, como se muestra en la siguiente distribución de plantas:

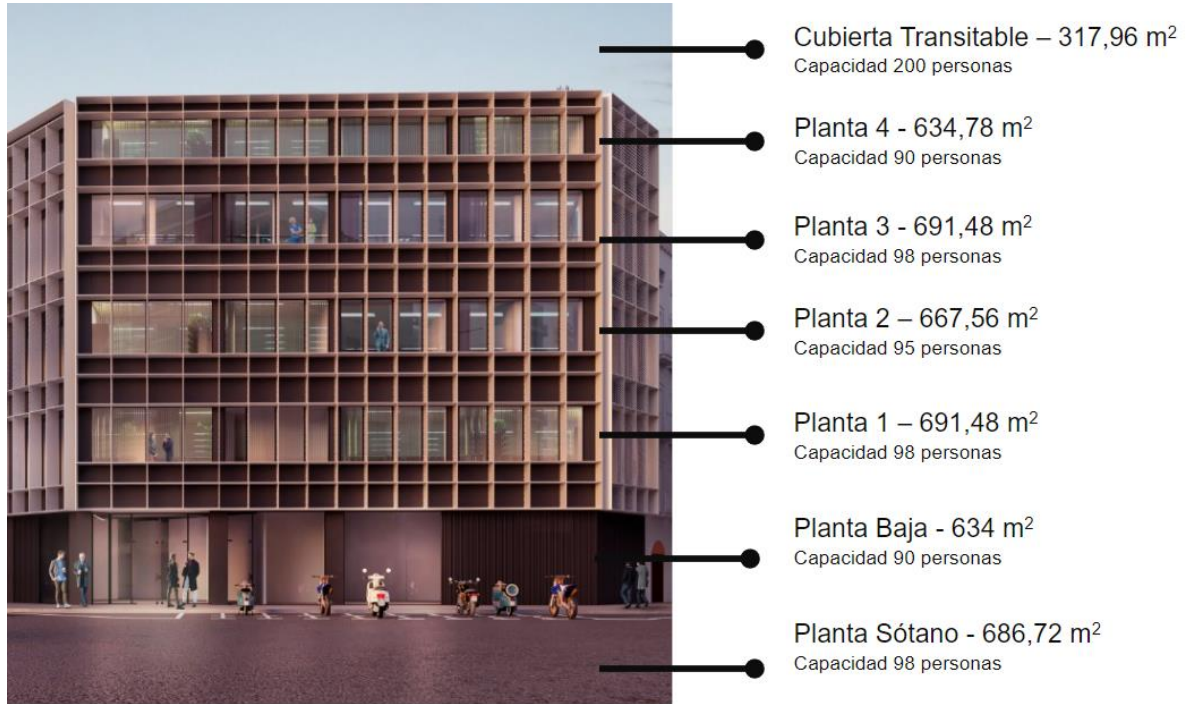


Fig. 22 Distribución de metros cuadrados por planta en el proyecto de AVILA60 (fuente: Ponder Trade, 2023).

Debido a que este es un proyecto de rehabilitación integral, se ha planteado en 2 fases. En la primera fase tiene abarca todas las actuaciones enfocadas al retiro de las instalaciones, mobiliario y acabado existentes. Y la segunda fase está enfocada en la obra civil y en toda el suministro e instalación de todos los nuevos sistemas del edificio.

Los nuevos sistemas para instalar serán los siguientes:

- Evacuación de aguas pluviales y fecales
- Agua sanitaria (acometida a la red de agua, producción de agua caliente de Districlima, aprovechamiento de aguas pluviales)
- Climatización y ventilación
- Regulación y Control (BMS)
- Instalaciones de baja tensión
- Instalación fotovoltaica
- Instalaciones de telecomunicaciones
- Circuito cerrado de televisión
- Protección contra incendios

Por motivos de investigación para este proyecto, se estudiará específicamente la partida del proyecto de “Regulación y control” donde se ha hecho una propuesta por parte de la ingeniería de la composición del BMS para este edificio, que sistemas incluye y que prestaciones dará finalmente para los usuarios.

2.6.3 Memoria descriptiva del sistema de Regulación y Control (BMS)

Se ha denominado como “Regulación y control” a la partida del proyecto de rehabilitación integral del edificio, al planteamiento del sistema de gestión para el control y monitoreo de algunos de los sistemas descritos anteriormente. De acuerdo con las necesidades del proyecto y el interés del propietario, se puede establecer un sistema de regulación con puntos de control en cualquier sistema y equipo, sin embargo, entre más extenso el número de puntos, más costoso puede llegar a ser. Además que, si algunos puntos solamente son informativos y no generan un impacto significativo para poder hacer más eficiente la gestión del edificio, no es necesario incluirlos.

Este será un BMS de protocolo BACnet IP con el propósito de ser accesible tanto de manera física en sitio (en el edificio por ordenador) como de manera remota al contar con una dirección IP.

Para el proyecto de AVILA60 se ha planteado el BMS de la siguiente manera:

1. Un panel central de control o “supervisor”:
Consta de un ordenador en donde toda la información recabada por los elementos de campo es centralizada y organizada para que el usuario pueda visualizar el estado de las instalaciones y sus equipos
2. Cuadros de control y cableado:
Son la infraestructura física del BMS, en donde todos los elementos de campo instalados en los equipos están conectados a unos cuadros secundarios por planta, y eventualmente estos están conectados a un cuadro general de control con protocolo BACnet IP.

3. Elementos de campo (Sensores y actuadores):

Son todos los puntos de control y monitoreo de los sistemas y equipos a gestionar por el BMS. Esto incluye desde sensores de caudal como contadores de consumo eléctrico de la baja tensión, de la climatización, etc.

4. Plug-in de IA para consumo energético de climatización:

Para este proyecto, se está considerando la implementación de un modelo de IA que complementará al BMS para poder hacer un modelo predictivo de mantenimiento y reducir el consumo energético específicamente de la climatización.

Los puntos de control y monitoreo estarán distribuidos de la siguiente manera:

- Ventilación
 - i) Paro/marcha ventiladores
 - ii) Sonda de calidad de aire (CO2, temperatura, VOC, PM)
 - iii) Paro/marcha de Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)
 - iv) Sensor de ruido de UTA
 - v) Temperatura exterior UTA
 - vi) Temperatura interior UTA
 - vii) Sensor de filtros
 - viii) Paro/marcha humidificador
- Climatización
 - i) Temperatura de entrada de aire frío
 - ix) Temperatura de salida de aire frío
 - x) Temperatura entrada aire caliente
 - xi) Temperatura de salida aire caliente
 - xii) Contador de energía en equipos
 - xiii) Sensor de presión de llenado de tanques de acumulación
 - xiv) Sensor de presión diferencial en circuitos
 - xv) Contador de agua fría
 - xvi) Temperatura de grupo de bombeo
 - xvii) Control de fancoils (temperatura, paro/marcha y válvulas)
- Agua sanitaria
 - i) Paro/marcha grupo de bombeo de ACS

- ii) Temperatura de impulsión de ACS
- iii) Temperatura de retorno de ACS
- iv) Contador de energía de equipos
- v) Detección de fugas en lavabos
- vi) Nivel mínimo de acumulador de aguas pluviales
- vii) Nivel máximo de acumulador de aguas pluviales
- viii) Paro/marcha de acumulador de aguas pluviales
- ix) Contador de agua de inodoros
- x) Paro/marcha de bomba de inodoros
- Electricidad
 - i) Energía activa alumbrado
 - ii) Energía reactiva alumbrado
 - iii) Tensión de fases de alumbrado
 - iv) Intensidad en fases de alumbrado
 - v) Energía activa de electricidad general
 - vi) Energía reactiva de electricidad general
 - vii) Tensión en fases de electricidad general
 - viii) Intensidad en fases de electricidad general
 - ix) Analizador de red de cuadro general eléctrico
 - x) Contador en inversor de energía fotovoltaica (paneles solares)

2.6.4 Descripción del complemento del sistema BMS con IA

Para poder implementar un modelo de IA en la gestión del edificio, no es necesario la instalación de un software físico o dispositivos en el edificio. Los servicios de IA necesitan acceso a los datos generados por el comportamiento del edificio, al igual que datos proporcionados por fuentes externas de meteorología y urbanismo. Con estos datos, las empresas que implementan soluciones de IA, acceden al BMS para que el modelo que plantean pueda hacer un estudio del comportamiento del edificio, y así el modelo inteligente puede aprender de estos comportamientos de demanda y consumo de las instalaciones, capturando los datos y procesándolos por medio de Machine Learning para elaborar escenarios donde se encuentre el mejor ahorro energético en el edificio como se muestra en el Anexo 7.

Para esto se requiere de dos fases en la implementación del modelo de IA:

- Fase 1: Periodo de estudio y obtención de datos para determinar la situación actual del edificio
- Fase 2: Aplicación de comandos al BMS para cambios de consignas horarias y control de potencias en los equipos para poder optimizar la eficiencia de los sistemas, alertando de comportamientos inusuales en los sistemas.

La Fase 1, es considerada como un periodo de diagnóstico del edificio. Una vez inicia la operación el edificio, es este caso es un uso de oficinas, todas las instalaciones inician su funcionamiento regular, por medio de la captación y recopilación de datos obtenidos por el BMS, se puede estudiar el consumo por instalación, por equipo, si es de día, si es de noche, por cada hora de la jornada laboral, en fines de semana y en vacaciones.

Durante este periodo, el cual puede tener una duración de 2-4 semanas dependiendo los patrones encontrados por el modelo, se va generando un historial de consumos que está compuesto por datos de diferentes periodos, diferentes equipos y diferentes sistemas, generando las métricas a estudiar por el algoritmo de la IA.

Para la Fase 2, el modelo de IA ya tiene determinado el comportamiento del edificio, entonces por medio del Machine Learning y permisos de control por el BMS, inicia con modificaciones en las consignas establecidas por los FM inicialmente como son los horarios de funcionamiento de los sistemas, y las potencias para cumplir las demandas de los usuarios. Estas modificaciones se van realizando iterativamente, día por día, tomando en cuenta que también tiene la consideración de los datos obtenidos por los factores externos meteorológicos. Entonces si en un día hubo una temperatura de 20 grados a las 10 am, y al siguiente día hubo una temperatura de 19 grados a las 10 am, el modelo aprende que hay que reducir la potencia de los climatizadores por este grado que ha bajado de un día a otro.

Es el mismo caso para el inicio y fin de actividades laborales en el edificio. El modelo puede entender que si los equipos de climatización se encienden a las 7 am para poder llegar a la temperatura deseada a las 9 am para el confort del usuario, el modelo considera los datos de las temperaturas del exterior y el tiempo que le toma a la climatización en llegar a esa temperatura consigna de confort, y reprograma el encendido y el apagado de los equipos, adaptándose al día a día de la operación del edificio.

La implementación de un modelo de IA puede llegar a generar un ahorro entre el 10% y 40% del consumo total energético del edificio. En este caso, aplicaremos la media establecida por el proveedor de la solución de IA en Barcelona que es del 20% ahorro en el consumo energético.

2.6.5 Coste de la inversión: BMS con IoT y Complemento de IA

Para este trabajo de investigación se está considerando que generalmente se tiene un sistema de gestión, ya sea un SCADA, BAS o BMS, en sitio, para cubrir con las demandas generales de gestión que tiene un edificio. Sin embargo hay un sobrecoste por invertir en un BMS con la posibilidad de estar conectado al internet, y a un Cloud.

Para determinar el monto de inversión final, se calculará el promedio del coste de un sistema de gestión en sitio básico para AVILA60 y posteriormente se calculará el promedio de coste de un BMS con IoT, y la diferencia, será el valor de la inversión del BMS

De acuerdo con la empresa “BuildingIoT” el coste promedio, de un BMS básico en sitio tiene una repercusión aproximada de “15.66 Eur/M2”, valor obtenido en el desglose de la siguiente tabla:

Coste de un BMS Básico en sitio	
Coste promedio de equipos (Eur/M2)	5,00
Área total de AVILA60 (M2)	4.047,17
Coste Estimado de Equipos (Eur)	20.235,85
Coste Estimado de la Infraestructura (Eur)	43.160,00
Coste Estimado Total de BMS en Sitio (Eur)	63.395,85
Coste Estimado de BMS en Sitio (Eur/M2)	15,66

Tabla 1 Cálculo estimado de un BMS en sitio para el proyecto de AVILA60.

Para el cálculo del BMS con IoT para el edificio de AVILA60, se procedió a utilizar presupuestos reales de mercado. Una vez definidos los puntos de control y monitoreo del BMS para el edificio, se mandaron con 4 de las más grandes empresas de sistemas de gestión como Honeywell y Johnson Controls, para poder tener un panorama económico del coste de inversión del BMS,

tabulando los presupuestos de cada empresa y haciendo un promedio con propósitos de cálculo para este trabajo como se muestra en la siguiente tabla:

<i>Comparativo de propuestas económicas de BMS con IoT para el proyecto de AVILA60</i>	
Empresa 1	139.532,60
Empresa 2	134.837,71
Empresa 3	119.824,84
Empresa 4	102.669,20
Promedio	124.216,09

Tabla 2 Coste económico promedio de implementar un BMS con IoT en el proyecto de AVILA60.

Finalmente, se toman los dos valores obtenidos y se restan para poder determinar cual es el valor de la inversión de optar por una mejora de pasar de un BMS en sitio, a un BMS con IoT, como se muestra a continuación:

$$\text{Coste BMS con IoT} - \text{Coste BMS en Sitio} = \text{Valor Real de Inversión BMS con IoT}$$

$$124.216,09 \text{ Eur} - 63.395,85 \text{ Eur} = 60.820,24 \text{ Eur}$$

$$\text{Valor real de Inversión BMS con IoT} = 60.820,24 \text{ Eur}$$

Ecuación 1 Cálculo del valor real de la inversión de un BMS con IoT.

2.6.6 Coste de la Inversión Modelo de IA

El modelo de IA tiene un presupuesto por fases. Para la fase 1, normalmente se mantiene un presupuesto fijo ya que solamente es un periodo de diagnóstico para conocer la situación actual del consumo operativo del edificio. La fase 2 es un coste por servicio anual por la implementación del modelo de IA, como se muestra a continuación:

<i>Coste de inversión del modelo de IA</i>	
Fase 1 (Estudio)	2.500,00
Fase 2 (Aplicación del modelo) Anual	8.000,00
Total Año 1	10.500,00

Tabla 3 Cálculo del coste de la inversión de un modelo de IA en el proyecto de AVILA60.

Después, solamente tendrá un coste equivalente a la Fase 2 por la aplicación y servicio del modelo de manera anual como se muestra en la siguiente tabla:

<i>Coste de Inversión Modelo de IA En Años Consecutivos</i>	
Año 1	10.500,00
Año 2	8.000,00
Año 3	8.000,00
Año 4	8.000,00
Año 5	8.000,00
Año 6	8.000,00
Año "x"	8.000,00

Tabla 4 Desglose del coste anual por el servicio del modelo de IA en el proyecto de AVILA60.

2.6.7 Desglose del consumo energético previsto y el ahorro generado por la implementación del modelo de IA

Actualmente el edificio cuenta con un certificado energético con calificación "C", en donde se establece que ha el consumo promedio por unidad de área es de 218 kWh/M2 anual. Considerando que el área es de 4047,17 M2, el edificio cuenta con un consumo anual de 872.000,00 kWh. Para no considerar variables que afecten los cálculos sobre la eficiencia de los nuevos equipos a implementar en el edificio, se considerará que esta misma eficiencia, además que se descartará la potencia contratada, ya que no influye en los montos de consumo neto por los equipos.

Las tarifas del coste energético varían de acuerdo con el día de la consulta y en el horario del consumo, es por eso que para poder efectuar un cálculo aproximado de coste del consumo energético anual, se consultará la tarifa horaria de un rango de trabajo ordinario de oficina de 09:00h a 06:00h adicionando 1 hora de margen por inicio de actividades de personal de limpieza y seguridad, obteniendo un rango final horario de 08:00h a 07:00h. Se consultará la tarifa horaria de cada una de las horas en ese rango para finalmente obtener un horario promedio como se muestra en la siguiente tabla:

<i>Tarifa Energética Eléctrica de España</i>	
Hora	Eur/kWh
08h	0.121
09h	0.10026
10h	0.12692
11h	0.1161
12h	0.1161
13h	0.11382
14h	0.06473
15h	0.0665
16h	0.07161
17h	0.07306
18h	0.13591
19h	0.15283
Promedio	0.10538

Tabla 5 Cálculo del promedio del coste energético del kWh con base en tarifas horarias (fuente: Tarifaluzhora, "¿Cuánto cuesta el kilovatio hora de luz (kWh) en España?, 2024).

Una vez obtenido el promedio, se procederá a calcular el coste promedio anual del consumo energético al multiplicarlo por el consumo total energético obtenido anteriormente como se muestra a continuación:

$$\text{Total Consumo Energetico Anual} \times \text{Tarifa Promedio Horaria} = \text{Coste de Consumo Anual}$$

$$872000 \text{ kWh} \times 0.10538 \frac{\text{Eur}}{\text{kWh}} = 91.893,54 \text{ Eur}$$

$$\text{Coste de Consumo Anual} = 91.893,54 \text{ Eur}$$

Ecuación 2 Cálculo del consumo anual del edificio AVILA60.

Estableciendo de acuerdo con las métricas obtenidas de ahorro promedio en edificios de oficinas por parte de los proveedores del servicio de “20%”, podemos obtener que el ahorro económico al implementar un modelo por IA sería de la siguiente manera:

$$\text{Coste de Consumo Anual} \times 20\% = \text{Ahorro Energético Anual}$$

$$91.893,54 \text{ Eur} \times 0.20 = 18.378,71 \text{ Eur}$$

$$\text{Ahorro Energético Anual} = 18.378,71 \text{ Eur}$$

Ecuación 3 Cálculo del ahorro energético anual del edificio AVILA60.

2.6.8 Cálculo de la Tasa Interna de Inversión de la Implementación de IA (TIR y VAN)

Para poder calcular la viabilidad económica de la implementación del BMS con IoT y el modelo de IA, se planteará una corrida financiera de 10 años en donde se considerará un Valor Inicial de Inversión (BMS con IoT y la Fase 1 del modelo de IA). Aplicando el cálculo del ahorro energético a lo largo de esos 10 años con un aumento de la energía constante del 4.5% anual, y una tasa de interés del 21%.

Para esto se establecen los gastos generados por la implementación de los sistemas, el ahorro energético generado por los sistemas, el balance y el valor acumulado para detectar en que año se llega al punto de equilibrio, como se muestra en la siguiente tabla.

CALCULO DE BALANCE FINANCIERO				
Año	Gasto	Ahorro	Balance	Acumulado
0	- 63,320.24 €	- €	- 63,320.24 €	- 63,320.24 €
1	- 8,000.00 €	18,378.71 €	10,378.71 €	- 52,941.53 €
2	- 8,000.00 €	19,205.75 €	11,205.75 €	- 41,735.78 €
3	- 8,000.00 €	20,070.01 €	12,070.01 €	- 29,665.77 €
4	- 8,000.00 €	20,973.16 €	12,973.16 €	- 16,692.61 €
5	- 8,000.00 €	21,916.95 €	13,916.95 €	- 2,775.66 €
6	- 8,000.00 €	22,903.21 €	14,903.21 €	12,127.55 €
7	- 8,000.00 €	23,933.86 €	15,933.86 €	28,061.41 €
8	- 8,000.00 €	25,010.88 €	17,010.88 €	45,072.29 €
9	- 8,000.00 €	26,136.37 €	18,136.37 €	63,208.67 €
10	- 8,000.00 €	27,312.51 €	19,312.51 €	82,521.17 €

Tabla 6 Cálculo del balance financiero por la inversión del BMS con IoT y el modelo de IA.

Como se puede ver en la tabla, podemos interpretar que aplicando los costes de inversión y gastos repercutidos por la inversión inicial en el año desde el año 0 (inversión inicial), y los ahorros a partir del año 1 (consumo energético), el balance acumulado se torna positivo en el año 6, siendo este el año del Payback o donde encontramos el punto de equilibrio.

Una vez identificados los balances para determinar a obtener el TIR y el VAN de la inversión de la implementación del BMS con IoT y el modelo de IA. Para esto los definimos de la siguiente manera:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Ecuación 4 Cálculo del valor de la Tasa Interna de Retorno de una inversión.

Donde:

F_t es el balance acumulado

I_0 es la inversión inicial en el año 0

n es el número de años que se estudió, en este caso 10 años

Con la fórmula anterior, es posible obtener el TIR al igualar la ecuación a "0", lo cual puede ser calculado por medio de la función TIR en Excel. Posteriormente, si no se iguala a "0", se obtiene el VAN haciendo la sumatoria del cálculo en todos los periodos, como se muestra en la siguiente tabla:

Cálculo VAN y TIR BMS con IoT + IA			
Año	Balance	VAN Anual	TIR
0	- 63,320.24 €	- 63,320.24 €	17%
1	10,378.71 €	10,378.71 €	
2	11,205.75 €	11,205.75 €	
3	12,070.01 €	12,070.01 €	
4	12,973.16 €	12,973.16 €	
5	13,916.95 €	13,916.95 €	
6	14,903.21 €	14,903.21 €	
7	15,933.86 €	15,933.86 €	
8	17,010.88 €	17,010.88 €	
9	18,136.37 €	18,136.37 €	
10	19,312.51 €	19,312.51 €	
TOTAL		82,521.17 €	

Tabla 7 Cálculo del TIR y VAN de la inversión del BMS con IoT y modelo de IA en el proyecto de AVILA60.

Una vez hechos los cálculos utilizando las fórmulas anteriormente descritas, podemos encontrar que la Tasa Interna de Retorno de la inversión en el BMS con IoT con un modelo de IA sería de un 17% aproximadamente, lo cual comprueba que la implementación es viable económicamente después de 6 años.

Este estudio económico logra mostrarnos la conveniencia en cuanto rentabilidad que tiene la implantación de tecnología inteligente en la gestión de edificios, o en incluso, en la gestión de activos inmobiliarios en general. Altos consumos energéticos han sido fuente de que muchos propietarios de inmuebles sufran de pérdidas al gestionar sus propios activos y es aplicable a todos los tamaños de activos. En una vivienda chica, uno puede darse cuenta cuando la factura de la electricidad es elevada, y toma medidas de ahorro para evitar tener ese impacto económico como lo son apagar las luces que no se estén utilizando, desconectar los dispositivos que no se están utilizando o incluso implementar tecnologías ahorrativas como lo ha sido la última década con las luminarias LED.

Sin embargo, cuando se trata de edificios enteros, no es tan sencillo desconectar todos los dispositivos, o apagar todas las luces, si dentro del edificio contamos con diferentes tipos de actividades por parte del propietario, como es el FM, o incluso de los mismos inquilinos, en este caso como lo es en un edificios de oficinas. Las medidas de ahorro comparables a la de la vivienda es la utilización y soporte de un BMS, y en el momento que implantamos uno con la

capacidad de estar conectado con dispositivos IoT, y la modelación de IA, el ahorro puede ser notable, como lo ha demostrado el caso del estudio económico de la inversión en el proyecto de AVILA60.

Los datos en este estudio podrán ser aplicables a posiblemente la mayoría de los edificios de un uso de oficinas en Barcelona, y en el mundo, pero también hay diversas implicaciones que deben de ser consideradas antes de hacer una implementación de este tipo de tecnologías. A pesar de que debido a la evolución tecnológica, eventualmente todos los edificios contarán con tecnología similar, se debe de hacer un estudio previo para ver si realmente es necesaria la mejora, o si es aplicable, posiblemente el valor de la TIR varíe.

Implicaciones como el tamaño del inmueble, el uso, la antigüedad de las instalaciones, el tipo de sistemas implantados (compatibilidad), el deterioro de las instalaciones, la ubicación del inmueble, etc. Como es el caso del sector de la construcción en general, cada edificio es diferente incluso aunque sea basado en el mismo proyecto ejecutivo arquitectónico. El simple hecho de cambiar la ubicación dentro de una misma ciudad, o la orientación que tenga la fachada principal, puede alterar la eficiencia de los sistemas interiores, eso sin contar que cada instalación tiene su deterioro único. El mismo equipo de producción de climatización puede tener mayor consumo o número de averías a pesar de estar sujeto a condiciones casi iguales para cumplir la misma demanda.

Es por eso que la adaptación de este tipo de BMS con IA tenga un periodo de más de una década hasta que llegue a ser normalizado, porque hoy en día, cada edificio está en condiciones completamente distintas. Sin embargo, es una solución de ahorro energético y disminución del impacto ambiental que vale la pena considera.

3 CONCLUSIONES

Con lo visto tanto en la teoría como en el ejemplo de la viabilidad económica del proyecto de AVILA60, se puede deducir que el avance de la tecnología puede tener diversos beneficios para la gestión de edificios, y más específicamente en los edificios de uso terciario como son las oficinas.

El papel de un Facility Manager puede ser facilitado drásticamente si tiene a su alcance una herramienta que puede interpretar los datos en tiempo real e incluso identificar puntos de ineficiencia como lo son horarios o potencias mal estimadas en los equipos, al igual que se puede medir el deterioro de las instalaciones antes de que haya una avería, generando que puedan actuar los mantenimientos preventivos en el momento requerido por cada edificio con su particular demanda.

También hay un beneficio económico para el propietario porque no solo tiene un retorno de inversión en 5 años, en lo que después podría ser considerado ganancia, sino que también el uso y mantenimiento adecuado de las instalaciones genera menos averías, lo cual los costes de mantenimiento bajan y los equipamientos duran más. Esto es sin dudar que el valor del edificio mismo puede subir ya que es una prestación novedosa que atrae comercialmente.

Y finalmente, la implementación de este tipo de tecnología a base de la IA produce un impacto ambiental considerable ya que el ahorro de energía reduce el impacto de las emisiones generadas de CO₂, lo cual a lo largo de los años, y si más propietarios invierten en esta tecnología podrían hacer un cambio en las ciudades del futuro, iniciando por Barcelona.

4 AGRADECIMIENTOS

De manera especial se les agradece a las empresas PONDER TRADE y FOMENTI por permitir el uso del proyecto de AVILA60 como caso de estudio en este Trabajo Final de Máster, el cual nos permitió ver un caso real de costes e implicaciones en la ciudad de Barcelona, además de demostrarnos el interés de parte de los propietarios en innovar en los proyectos no solo de una manera económica, sino teniendo conciencia del impacto sostenible que tiene la tecnología de la IA en el mundo de la edificación.

5 BIBLIOGRAFÍA

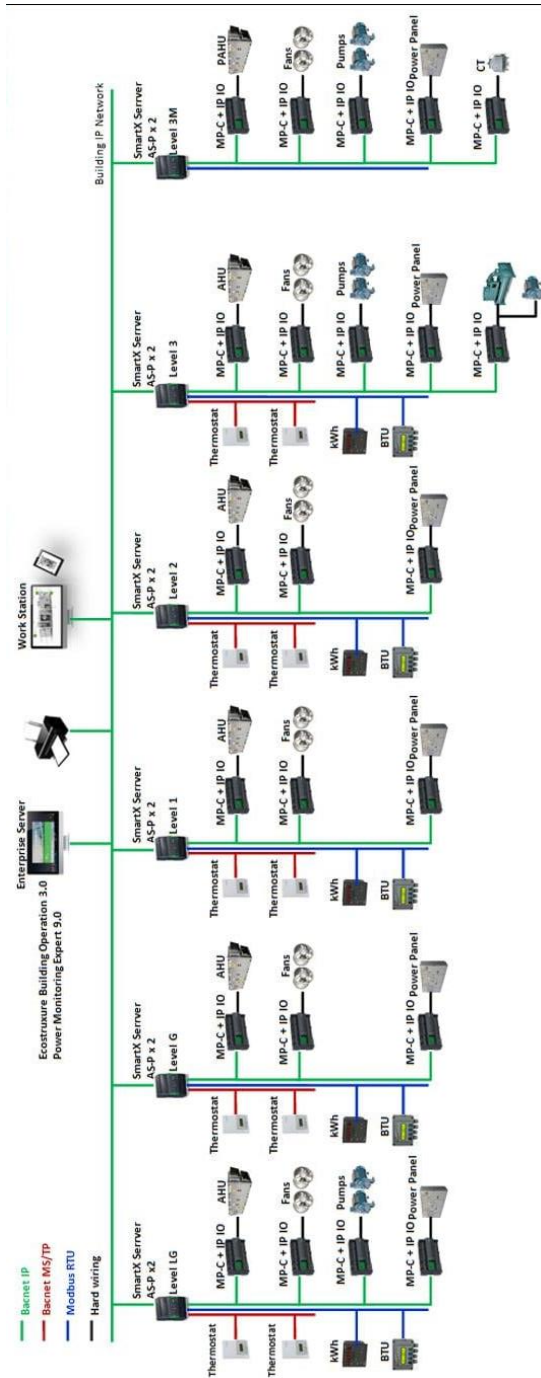
- [1] Rocha, P., Siddiqui, A. and Stadler, M. (2014), Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. Elsevier Journals. Published online.
- [2] Yan, K., Zhou, X. and Yang, B. (2023), AI and IoT applications of smart buildings and smart environment design, construction and maintenance. Elsevier. China.
- [3] Farsi, M., et al. (2020), Digital Twin Technologies and Smart Cities. Springer. Switzerland.
- [4] Himeur, Y., et al. (2022), AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives. Springer. Published online.
- [5] Plageras, A.P., et al. (2017) Efficient IoT-based sensor BIG Data collection-processing and analysis in smart buildings. Elsevier. Published online.
- [6] Djenouri, D., et al. (2019). Machine Learning for Smart Building Applications: Review and Taxonomy. ACM Comput. Surv. Published online.
- [7] Heidari, A., et al. (2023). A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI. Taylor & Francis. Published online.
- [8] Wu, C., (2023). Energy Performance Analysis of Kinetic Façades by Climate Zones. Springer. USA.
- [9] Gerogievski, I., et al. (2023). AI temporal planning for energy smart buildings. Springer. Austria.
- [10] Alanne, K., Sierla, S., (2022). An overview of machine learning applications for smart buildings. Elsevier Journals. Finland.
- [11] Jin, Y., et al. (2021). Building occupancy forecasting: A systematical and critical review. Research Gate. Published online.

[11] Minoli, D., et al. (2017). IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next-Generation Building Management Systems. IEEE Internet of Things Journal. Published online.

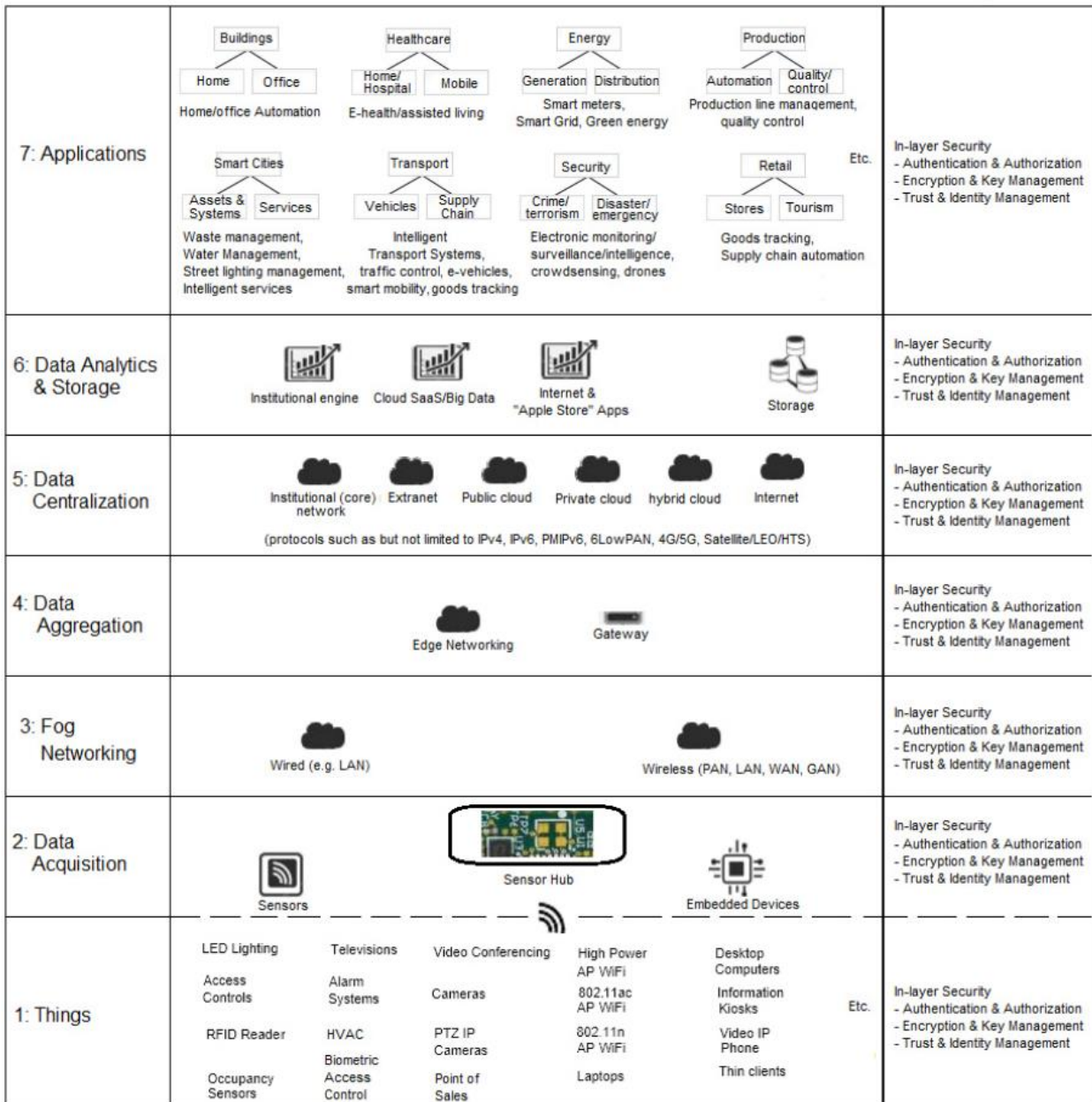
[12] Atta, N., (2021). Information Management in FM Processes. Traditional Scenario and Future Perspectives. Springer. Published online.

6 ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de la arquitectura de un BMS de un edificio de diferentes niveles, donde se muestran los elementos de campo conectados a los equipos de las instalaciones, recopilados por los cuadros de control y enviados al ordenador que contiene el software de BMS, en este caso un Schneider Electric EcoStruxure (fuente: Hai Nam, “Services”, 2021)



Anexo 3. Diagrama que explica el proceso que toman los datos desde los dispositivos IoT hasta sus diferentes aplicaciones [11].



Anexo 4. Listado de las aplicaciones de la “Data Analysis” a los diferentes dominios dentro de un edificio [5].

Main function	Application domain
Observe	<ul style="list-style-type: none"> Identification of equipment and systems Recognition of activity Detection of anomalies and faults Monitoring building performance
Predict	<ul style="list-style-type: none"> Prediction of human behaviour Prediction of state variables Prediction of heat gains and loads Prediction of energy and power usage Prediction of risks
Adjust	<ul style="list-style-type: none"> Controller tuning Actuation of heating, cooling, ventilation, and lighting systems Building energy management Demand response and scheduling
Manage (data)	<ul style="list-style-type: none"> Data acquisition Data quality assessment Data reconstruction Data analysis
Interact (with humans)	<ul style="list-style-type: none"> Improvement of human-building interaction

Anexo 5. Estudio del comparativo del ahorro energético por implementar fachadas deslizantes móviles, a comparación de fachadas sin sombreado o de sombreado fijo en distintas ciudades de E.E.U.U. [8].

Energy savings	Compared to no-shading		Compared to fixed shading	
	Amount (kWh/year)	Percentage (%)	Amount (kWh/year)	Percentage (%)
Miami	5148	44	301	4
Houston	2529	32	972	15
Phoenix	2508	35	960	17
Las Vegas	2211	32	1077	18
Atlanta	1448	36	1261	33
LA	942	93	226	75
San Francisco	167	29	167	29
Albuquerque	1071	36	1059	36
Baltimore	1316	25	1315	25
Seattle	355	9	355	9
Boulder	665	20	665	20
Chicago	908	15	908	15
Helena	630	11	630	11
Minneapolis	927	12	927	12
Duluth	264	3	264	3
Fairbanks	133	1	133	1

Anexo 6. Ejemplo de parámetros considerados para un simulacro energético de la climatización de un edificio de oficinas para la certificación LEED [1].

Program	Office
People density	0.07 p/m ²
Metabolic rate	1.2
Equipment power density	7 W/m ²
Lighting power density	10 W/m ²
Heating setpoint	20 C
Cooling setpoint	26 C
Wall U-value	0.2 W/m ² K
Window U-value (Double-pane clear glass)	2.69 W/m ² K
Window SHGC	0.703
Window visible transmittance	0.774
Infiltration	0.5 ACH

Anexo 7. Estudio de costes energéticos en 5 diferentes escenarios [9].

Parameters	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Day	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekend
Occupancy	7 hours (High)	4 hours (Low)	7 hours	7 hours	No
Natural light level	High	High	Low	High	Normal
Temperature in range	Yes	Yes	Yes	No	Off </td
Baseline cost (€)	1 313 108.74	1 313 108.74	1 313 108.74	1 313 108.74	27 869.02
Our cost (€)	798 755	558 162.54	807 773.26	888 250.61	15 432.86
Cost reduction	39%	57%	38%	32%	44.62%

