

Guillem Peris Sayol (guillem.peris@sener.es)

Director de Proyecto RESPIRA®

Sergio Escribano Merino (sergio.escribano@sener.es)

Especialista HVAC

Silvia Figuerola Asencio (silvia.figueroa@sener.es)

BI Engineer

SENER Ingeniería y Sistemas

Inteligencia Artificial para mejorar la calidad del aire, el confort térmico y la eficiencia energética en hospitales

En los últimos años, la evolución de las nuevas tecnologías y el aumento de la capacidad de computación, han hecho que la inteligencia artificial se encuentre cada vez aplicada a más casos. La climatización de un hospital no es menos. Resultando una de las instalaciones más complejas, y donde las condiciones ambientales representan un factor clave, un sistema de inteligencia artificial IA machine learning permite gestionar toda esa complejidad y garantizar el confort térmico y la calidad del aire con un ahorro significativo del consumo energético.

Introducción

Confort térmico, calidad de aire y eficiencia energética son conceptos que se encuentran en el vocabulario diario de la operación y gestión de una infraestructura, incluidas las sanitarias.

Los edificios se pueden entender como “entes vivos” cuyas condiciones ambientales interiores se ven sometidas a cambios constantes a lo largo de un día. Centrándose, por ejemplo, en el confort térmico, hay múltiples factores que influyen, como la climatología exterior, el tipo de actividad desarrollada en su interior, los niveles de ocupación... En el caso de un hospital, esto cobra especial importancia dadas las distintas zonas con diferentes usos y los diferentes perfiles de usuario que hay en su interior, desde pacientes, médicos, enfermeras, etc.

Para evaluar el confort térmico, existen diferentes metodologías, siendo predominante el uso de los índices de confort PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) y PMV (Predicted Mean Vote), tal como recogen las normativas ASHRAE 55 y UNE-EN ISO 7730, que permiten medir el grado de insatisfacción del usuario en función de una serie de parámetros. Estos índices provienen del trabajo de P.O Fanger (Ther-

mal Confort, McGraw-Hill, 1972) que considera el nivel de actividad, las características de la ropa, la temperatura seca, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. Todas estas variables influyen en los intercambios térmicos hombre-entorno, afectando a la sensación de confort.

Sin embargo, en la gestión de la climatización no se suele valorar el confort de las personas y, como criterio, únicamente se considera una consigna de temperatura predefinida. Pero la temperatura no es un número fijo para todas las zonas, ni para todos los días del año, dado los distintos perfiles de usuarios existentes y las condiciones exteriores cambiantes.

Conseguir condiciones confortables conlleva un coste energético. Desde hace 10-15 años se está instaurando una política de sostenibilidad y eficiencia energética que ha provocado que este concepto se convierta en una necesidad dentro de la gestión de la infraestructura. Con el establecimiento de los acuerdos internacionales, como los alcanzados en la Cumbre de París en 2015 o en la Agenda 2030 de la ONU, las entidades gubernamentales se han visto obligadas a tomar medidas para limitar el consumo energético y las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Los hospitales son infraestructuras que tienen que estar en funcionamiento las 24 horas del día, los 365 días del año, y donde es necesario garantizar unas condiciones ambientales ideales. Por lo tanto, existe un consumo de energía continuo, tanto de energía eléctrica como de combustible. Como estimación, se puede considerar que, en un hospital, el consumo dedicado a la climatización puede rondar el 50-60% del consumo global del edificio por lo que se hace imprescindible la aplicación de medidas de eficiencia energética en estos sistemas, tratando de reducir los consumos generados sin que se vean afectados ni el confort térmico ni la calidad de aire.

Se podría decir, por tanto, que la sostenibilidad y la eficiencia energética son conceptos que deben convivir en el día a día del hospital a pesar de que durante los últimos 2 años el foco haya sido otro. La pandemia ha puesto de manifiesto la importancia de la calidad del aire que respiramos en los espacios que frecuentamos.

Por normativa, la mayor exigencia en cuanto a calidad de aire se produce en hospitales. En un hospital, la calidad del aire es mucho más importante que en otros espacios, sobre todo en zonas críti-

cas, como quirófanos, laboratorios, zonas de urgencias... Sin embargo, hay que remarcar que la calidad del aire es importante en todo el hospital, no sólo en esas zonas. Los virus y bacterias se adhieren a las partículas en suspensión, lo que puede provocar la expansión de enfermedades por inhalación de aerosoles.

Si la gestión de la instalación de climatización no es correcta, controlada y optimizada, es posible derivar en graves problemas que afecten al confort térmico, la calidad del aire y la eficiencia energética tales como: zonas sobreenfriadas o sobrecalentadas que provocan malestar en los usuarios, zonas con aire viciado que provocan tanto problemas de salud como la propagación de patógenos y enfermedades a través del aire, aumento del consumo energético sin lograr los objetivos, aumento de los costes de mantenimiento y reparación debido a una mala operativa con sobrecarga de horas de funcionamiento y mayor desgaste de los equipos, etc.

Por tanto, se puede afirmar que la clave se encuentra en que estos 3 vectores: confort térmico, calidad de aire y eficiencia energética, se satisfagan de manera equilibrada, sin perjudicar unas por mejorar otras.

La climatización en un hospital

Un hospital es uno de los edificios más complejos, con multitud de zonas para usos muy distintos. Cada una de las zonas requiere de una forma de climatizar específica y es muy habitual encontrar distintas tipologías de equipamiento y soluciones, desde tratamiento directo con climatizadores (los puede haber de distintos tipos) hasta unidades de tratamiento

de aire primario con unidades terminales (como pueden ser los FanCoils).

En cuanto a la generación de frío o calor, habitualmente existe una producción centralizada que da servicio a las diferentes zonas del hospital. En este caso, desde calderas de gas o biomasa para la generación de calor hasta bombas de calor o enfriadoras para la producción de frío. En cuanto al sistema de control, es raro el hospital que no disponga de un sistema de control centralizado capaz de gestionar la instalación. Este sistema de control, conocido por sus siglas en inglés BMS (Building Management System), permite supervisar toda la instalación desde un punto centralizado y modificar ciertos parámetros del sistema: horario preestablecido, temperatura de consigna, % de recirculación de aire, salto térmico, variador de frecuencia, etc.

Los sistemas de control actualmente instalados en los hospitales actúan de forma reactiva en base a las mediciones obtenidas a partir de sondas y controlando cada equipo en base a un único punto de medida. Esta forma de actuar tiene el problema de que el funcionamiento de cada equipo se realiza de manera independiente, sin tener en cuenta el funcionamiento global del sistema. La actuación de manera reactiva no siempre permite tomar las mejores decisiones, no pudiendo anticiparse a puntos de estrés de la instalación o momentos donde se superen las condiciones ambientales aceptables. Por otra parte, los sistemas de climatización se diseñan para afrontar las peores condiciones (días de diseño) y no suelen estar concebidos para la operativa real a cargas parciales.

Todos estos problemas de ineficiencia de las instalaciones de HVAC se ven maxi-

mizados en espacios como son los hospitales, compuestos a su vez de múltiples espacios conectados con muchos equipos de climatización distribuidos.

Inteligencia artificial para la gestión inteligente de la climatización

Los sistemas centralizados de control (BMS) se utilizan para supervisar las instalaciones, pero, aunque tienen la capacidad de almacenar toda la información de la instalación, no suelen almacenarla. En el mundo actual, donde cada vez más se explotan los datos, el almacenamiento de toda la información del edificio permite poder aplicar herramientas de inteligencia artificial capaces, por una parte, de identificar problemas en la instalación y, por otra parte, de encontrar el punto óptimo de funcionamiento.

A continuación, se presenta *respira*®, un sistema de inteligencia artificial que, a partir de toda la información disponible en el sistema centralizado de control junto con la información recogida de otras fuentes de datos, es capaz de identificar patrones y encontrar el punto óptimo de funcionamiento en función de tres vectores: confort térmico, calidad de aire y eficiencia energética; así como detectar problemas en la instalación de una manera temprana, ayudando a realizar un mantenimiento basado en prestaciones frente a un mantenimiento preventivo, reduciendo los costes de operación de la instalación. El sistema utiliza datos reales para calibrar la realidad del edificio y provee una capa de inteligencia al sistema de control existente. Puede entenderse como un operador virtual inteligente y automático.

El sistema integra fuentes de datos diversas, recibiendo datos del BMS y de otras fuentes como agencias meteorológicas, sistemas de gestión de energía u otras fuentes de información relacionadas con el comportamiento del edificio: ocupación, calendario de eventos... El sistema combina toda esta información y aplica inteligencia artificial para correlacionarla y poder así predecir las condiciones ambientales y el consumo de energía bajo diferentes condiciones de operación, tomando decisiones en el momento actual teniendo en cuenta tanto el presente como el futuro.

Con las predicciones, el sistema modifica automáticamente la operación del sistema de climatización (puntos de con-

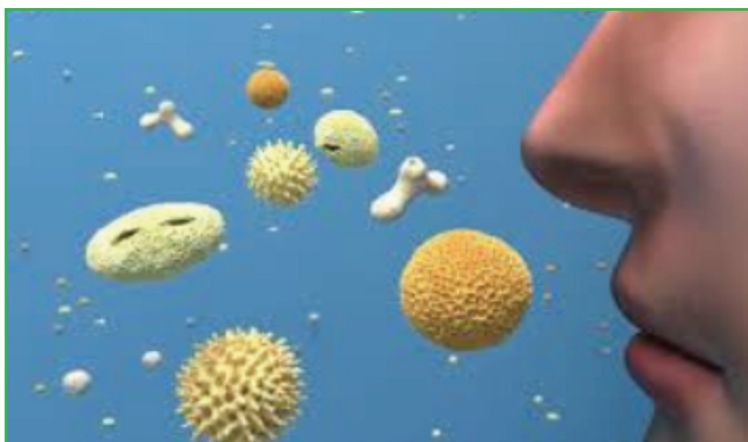


Figura 1. Infografía de partículas en el aire.

signa, climatizadores, plantas de producción de agua caliente y agua fría,...) con la finalidad de conseguir las condiciones ambientales requeridas con el menor gasto energético.

El sistema se encuentra alojado en la nube, donde todos los datos son almacenados, procesados y analizados. El motivo de alojar el sistema en la nube y no en un servidor local de la instalación viene motivado por:

- Integración de diversas fuentes de información alojadas en muy diversos sitios (BMS, datos meteorológicos, datos de ocupación, consumos energéticos de compañía, sensores IoT instalados...).
- Capacidad ilimitada de almacenamiento y procesamiento, lo que permite adaptar la capacidad de computación a las necesidades reales en cada momento.
- Rápido despliegue y, en el caso de tener varios activos en diferentes localizaciones, facilidad de centralización en un único punto.

Además, permite desplegar una plataforma web de visualización de la información, accesible desde cualquier lugar del mundo y a través de cualquier tipo de dispositivo (móvil, tablet, pc).

Respira® puede integrarse en una instalación existente de diversas maneras, dependiendo del BMS. El aspecto más im-



Figura 2. Arquitectura del sistema.

portante es que la red de comunicaciones del BMS sea de protocolo abierto: Modbus TCP/IP, Bacnet IP, KNX. En muchos BMS, sobre todo en aquellos antiguos, es muy complicado hacer modificaciones sobre el mismo y es más interesante actuar sobre la capa de comunicaciones para hacer la lectura y escritura de los datos que actuar sobre el propio software. BMS más modernos tienen habilitadas funciones que, vía API, puede modificar ciertos parámetros, aunque queda supeditado al tipo de software instalado.

Independientemente de la forma de conectarse, el sistema necesita una pasarela de comunicación que conecte la instalación existente con la plataforma en la nube. No es necesario realizar más trabajo ni más inversión que conectar un pequeño equipo que haga de pasarela, de ahora en adelante nodo IoT, y que, conectado a la red del BMS y con salida a internet (única-

mente a la dirección IP del sistema), haga de pasarela entre ambos sistemas.

La Figura 3 muestra un esquema de la red de comunicaciones y la instalación de este dispositivo.

El uso de la inteligencia artificial para predecir comportamientos permite obtener patrones, así como poder inferir la mejor operativa posible a partir de una función objetivo, que puede ser desde un balance entre los tres vectores, o limitar el consumo a un cierto valor, eligiendo la mejor operativa posible bajo esa restricción de consumo.

Entre las ventajas que proporciona un sistema de estas características:

- Control automático y eficiente de los sistemas de climatización.

- Reducción en el consumo de energía gracias a los algoritmos de IA y a las capacidades predictivas, entorno a un 20-30% dependiendo de la instalación existente.

- Mejora del confort térmico y la calidad del aire dentro del hospital.

- Gestión integral de la información a través de cuadros de mando que permiten evaluar continuamente el comportamiento del edificio.

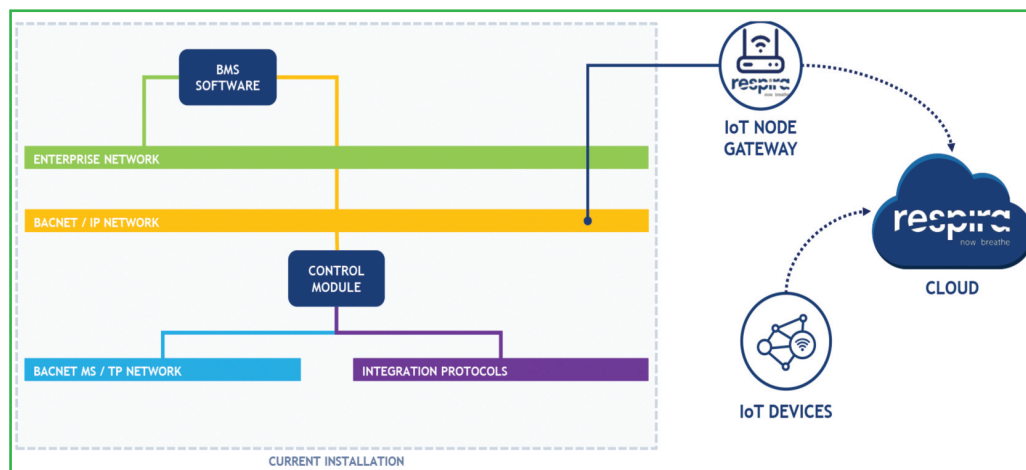


Figura 3. Esquema de comunicaciones e integración del Gateway.

- Centralización de diferentes áreas o zonas con diferentes softwares (BMS).

- Entrenamiento continuado de los algoritmos adaptándose de manera continua a la realidad.

- Mejora del ciclo de vida de los equipos gracias a una mejor operación y mantenimiento.

- Agnóstico a la instalación existente. El sistema es capaz de gestionar cualquier tipología de instalación HVAC o cualquier sistema de control. En caso de ser necesario integración de datos mediante equipos IoT ajenos.

Estudio de casos

Para mejorar la eficiencia de las instalaciones el sistema desarrolla un enfoque holístico teniendo en cuenta una gran cantidad de variables a la hora de tomar decisiones y operando los sistemas de climatización en su conjunto. Para una mejor comprensión del lector, se exponen algunos casos concretos y la diferencia respecto a un sistema de control tradicional:

Caso 1: Ocupación dinámica

Imaginen el auditorio del hospital en el que no hay personas en el momento actual pero se prevé un evento donde van a llegar 500 personas. Un sistema de control tradicional calefactaría el espacio hasta la temperatura de consigna (por ejemplo, 22°C) y una vez llegasen las 500 personas, la temperatura del espacio se incrementaría debido al calor emitido por las personas, necesitando conectar la climatización.

Un sistema basado en IA ya ha aprendido que, en ese espacio, cuando se llena de gente, la temperatura se incrementa por lo que modificaría la temperatura de consigna previo a la llegada de la gente, evitando un sobrecalentamiento. En este caso, el sistema ha sido capaz de ahorrar energía a la hora de calefactar previo al evento y no refrigerando durante el evento, manteniendo el confort térmico en todo momento.

Caso 2: Optimización rendimiento de máquinas

El objetivo en cualquier sistema de climatización es proporcionar la mayor ener-

gía térmica posible con el menor consumo de energía eléctrica. Dependiendo de las condiciones meteorológicas y de ciertos parámetros de los equipos, se puede buscar el punto óptimo en el que el rendimiento sea mayor.

Por ejemplo, a nivel de las calderas, modificando la temperatura de consigna, o a nivel de bombas de calor/enfriadoras, modificando la activación de los compresores y modificando los puntos de consigna. Un sistema de IA es capaz de correlacionar todas las variables con el fin de encontrar esa configuración de parámetros que para la situación actual haría que el rendimiento de la máquina fuese el mayor posible y reduciendo así el consumo de energía.

Caso 3: Encendido/Apagado de los equipos de producción

En la gran mayoría de instalaciones, el horario de encendido está basado en un horario prefijado. Esto significa que la producción de frío/calor siempre se enciende a la misma hora, independientemente de la realidad del edificio o de las condiciones meteorológicas.

Un sistema de IA es capaz de aprender la inercia térmica del edificio y, con la predicción meteorológica, encender y/o apagar las máquinas en el momento óptimo, ahorrando una gran cantidad de energía y alcanzando el confort térmico a la hora establecida.

Caso 4: Precio de la energía

Los sistemas actuales no tienen datos del precio de la energía y no pueden hacer una gestión avanzada al ser sistemas reactivos, no predictivos.

Un sistema de IA, con la predicción de los precios de la energía o, por ejemplo, la predicción de generación de energía renovable proveniente de energía fotovoltaica, es capaz de modificar ciertos parámetros de la operativa para abaratar el coste energético. De este modo, se puede refrigerar más cuando se dispone de autoconsumo, para poder tener una inercia térmica que te permita no consumir en momentos donde habría que comprar energía, o consumir energía de la red en periodos tarifarios más bajos.

Caso 5: Controlar en función de la calidad de aire sin sensores en el BMS

En muchos espacios quizás no hay sensores de calidad de aire, o únicamente hay sensores de CO₂. Gracias a la capacidad de integración de diferentes fuentes de información, el sistema de IA puede gestionar una instalación de climatización teniendo en cuenta datos de sensores de calidad de aire de todo tipo, no siendo necesario que estén integrados en el sistema de control del edificio, ahorrando un coste significativo en integración y en la alteración de las lógicas de control del sistema.

Conclusiones

Las instalaciones de climatización de los hospitales son de las instalaciones más complejas que se pueden encontrar, al existir una gran cantidad de espacios para usos muy distintos y con una gran cantidad de equipos con tipologías distintas.

Los sistemas actuales de control son sistemas reactivos, con lógicas de control individuales para cada equipo, y basadas en la información proveniente de una o dos sondas, siendo un control muy básico y predominantemente estático.

La aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para la toma de decisiones en tiempo real es posible y permite obtener unos beneficios en términos de ahorro de energía muy importantes, del orden del 20 al 30%, garantizando siempre el confort térmico y la calidad de aire.

El sistema *respira*[®] es un sistema capaz de gestionar toda esta complejidad mediante algoritmos de IA. Este sistema se puede entender como un operador virtual y automático capaz de predecir el comportamiento futuro y de tomar decisiones de forma autónoma.

Los datos tendrán cada vez mayor influencia en nuestro día a día y nos permitirán tomar decisiones, no sólo a nivel de operativa, sino a nivel de inversiones, dedicando los recursos a renovar aquellos activos que mayor beneficio nos van a reportar en el futuro.

La gestión integral y eficiente con el uso de inteligencia artificial para la gestión de las condiciones ambientales en hospitales es ya una realidad y es inevitable que esté cada vez más presente.