

## **HERRAMIENTA INFORMÁTICA ME3A PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS EXISTENTES**

### **ME3A: SOFTWARE TOOL FOR THE IDENTIFICATION OF ENERGY SAVING MEASURES IN EXISTING BUILDINGS**

José Sánchez Ramos

Francisco Sánchez de la Flor

Enrique Rodríguez Jara

*Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Universidad de Cádiz*

José Luis Molina Félix

María del Carmen Guerrero Delgado

*Grupo de Termotecnia, AICIA*

#### **Resumen**

En la actualidad se promueven las actuaciones para la rehabilitación de ciudades, distritos y edificios, tanto a nivel edificios terciarios grandes como viviendas. No obstante, es bien conocida la dificultad de valorar con suficiente certidumbre el ahorro energético que supone una medida de mejora de la eficiencia energética, o aún peor, la combinación de varias de ellas con efectos cruzados. La tendencia a resolver este problema es el uso de herramientas de simulación del comportamiento energético de edificios, bien simplificadas o detalladas. Sin embargo, la estimación del consumo de estas herramientas difiere de los valores medidos, debido a la propia definición del caso o a las hipótesis de la herramienta. En esta publicación se presenta una solución para los dos problemas anteriores a partir de una herramienta de simulación corregida a partir de datos de consumo y climáticos medidos. Esta herramienta ha sido elaborada en el marco de del proyecto de investigación ME3A – Mejora de la Eficiencia Energética de los Edificios en Andalucía (2014-2016) financiado por la Conserjería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía.

Las ventajas que presenta esta herramienta son fruto de la investigación realizada, la cual ha estado focalizada en la generación automática de líneas base con las que poder corregir la situación energética estimada por la herramienta oficial y la real medida. Estas líneas base quedan formuladas como función de los principales parámetros energéticos que definen el edificio, de esta manera se convierten en un protocolo de diagnosis dónde comparar estos indicadores energéticos con los valores de referencia esperables. Esta metodología devuelve el proyecto de rehabilitación óptimo económico y/o energético.

Cabe destacar que la herramienta desarrollada queda integrada como un complemento de la metodología de certificación de existentes CE3, por lo que además de alimentarse de la definición del edificio y sus sistemas realizada en la herramienta oficial, permite obtener el certificado oficial modificado una vez elegido el proyecto de rehabilitación óptimo.

#### **Abstract**

At present, actions for the rehabilitation of cities, districts and buildings are being promoted for tertiary as well as for residential buildings. However, the difficulty of assessing the energy savings achieved after energy efficiency improvement measures (or even worse, a combination of them which have cross effects) with enough certainty is well known. The tendency in order to solve this issue is the use of building's energy performance simulation tools, either detailed or simplified. Nevertheless, the estimation of the energy consumption made by these tools differs from the measured values, either due to the case definition or the assumptions taken into account. This publication aims to present a solution for both of the above mentioned problems, by using a simulation tool which has been corrected with climatic and consumption measured data. This tool has been developed within the framework of the project ME3A-Energy Efficiency Improvement of Buildings in Andalusia (2014-2016), funded by the Regional Government of Andalusia.

The benefits presented by this tool are the result of the previously carried out research, which was focused on the automated generation of baselines through which the estimated energy situation made by the official tool and the real measurement can be corrected. These baselines are stated in terms of the main energetic parameters which define a building. In this way, they are converted into a diagnostic protocol with which energetic indicators and the expected reference values can be compared. This methodology shows as a result the optimal rehabilitation project in economic and energetic terms.

It is worth mentioning that the developed tool is integrated as a complement within the existing methodology of energy certification (CE3). Therefore, apart from drawing data from the building definition and its systems (performed by the official tool), it allows to obtain the modified official certificate once the optimal rehabilitation project has been chosen.

**Palabras clave:** rehabilitación edificios; medidas de mejora; herramienta de simulación; edificios de energía casi nula; reducción demanda energética

**Área temática:** Actuaciones sostenibles en la edificación.

## 1. Introducción

El objetivo 20-20-20 pretende reducir un 20% el consumo de energías primarias y emisiones de gases efecto invernadero y aumentar un 20% la contribución de las energías renovables con respecto a las cifras de 1990. El 40% del consumo de energía y el 36% de emisiones de CO<sub>2</sub> pertenecen a edificios residenciales y comerciales. Consiguiendo este objetivo en el 2020 se puede conseguir utilizar un 30% menos de energía primaria [1].

A su vez la Agencia Internacional de la Energía IEA en sus informes destaca la importancia del sector de edificios existentes en el cambio energético [2]–[4]. Las ideas destacadas son:

- En los países miembros de la OCDE, ..., entre el 75% y el 90% de los edificios que existen hoy, existirán en 2050
- Se requerirá un enfoque integrado, con políticas más ambiciosas..., sobre todo en el parque existente de edificios
- Maximizar el despliegue de tecnologías de eficiencia energética para la renovación del 60% del parque inmobiliario de la OCDE en 2050
- El porcentaje mayor de la inversión deberá hacerse, antes de 2030 ya que el parque existente de edificios requiere una rehabilitación profunda y urgente.

- La prioridad sigue siendo la modernización de los edificios existentes (70 % fue construido antes de 1980...), donde el potencial de ahorro energético es enorme.

A su vez, de los compromisos adoptados en la Directiva europea (2010/31/EU) [5] se puede leer:

- Artículo 9 apartado 2: Además, los Estados miembros, siguiendo el ejemplo encabezado por el sector público, formularán políticas y adoptarán medidas tales como el establecimiento de objetivos, para estimular la transformación de edificios que se reforman en edificios de consumo de energía casi nulo, e informarán de ello a la Comisión en sus planes nacionales, a los que se refiere el apartado 1.
- Artículo 9 apartado 5: La Comisión publicará, el 31 de diciembre de 2012 a más tardar y cada tres años después de esa fecha, un informe sobre los avances efectuados por los Estados miembros a la hora de aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo. Sobre la base de ese informe, la Comisión elaborará un plan de acción y, si fuera necesario, propondrá medidas para aumentar el número de este tipo de edificios y fomentará las mejores prácticas en materia de transformación rentable de edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo.

La publicación más reciente de Directiva europea (2012/ 27/EU) [6], en el considerando 17 cita: El ritmo de renovación de edificios tiene que aumentar ya que el parque inmobiliario existente constituye el sector con mayor potencial de ahorro de energía. En esta línea y extrapolando las directrices de la ISO 50001 [7] de la eficiencia energética en edificios existentes :

- Etapa 1: Recopilación de información ¿Cuánto se consume, en que usos?

El edificio existe, por lo que hay que conocerlo a través de: la toma de datos, monitorización, análisis de datos y desglose de consumos

- Etapa 2: Diagnóstico ¿Es razonable el consumo?

Cálculo de indicadores y comparación con valores de referencia (benchmarking). El objetivo de esta etapa es encontrar los potenciales de ahorro del edificio y definir el catálogo de medidas de ahorro aplicable. Si bien es cierto que el tema es bien conocido como muestras las referencias [8], [9], la literatura existente es bastante particular y en la mayoría de los casos de aplicabilidad reducida, por ejemplo la siguiente específica de edificio tipo hoteles situados en un clima particular [10]–[12].

- Etapa 3: Tratamiento ¿Qué debo hacer para reducirlo? ¿Hasta dónde es razonable la reducción?

A partir del catálogo anterior se propone realizar una evaluación de medidas de mejora a partir de un estudio de cost-optimal [13], tal y como se hace referencia en la EPBD [6], [14] ;y que además se puede encontrar llevado a la práctica en multitud de referencias de diferentes maneras [15]–[18] El objetivo básico de estos estudios, es evaluar el interés de cada medida y sus combinaciones, pudiendo encontrar el paquete óptimo según las restricciones que se deseen: óptimo económico, máximo sobrecoste o máximo periodo de retorno.

- Etapa 4: Seguimiento-Mantenimiento ¿Está funcionando la medida como se esperaba? ¿Cómo puedo mejorarlo?

La última etapa se divide en dos. Por un lado, una vinculada con la credibilidad de los ahorros, es decir, la verificación de ahorros; y por otro, la necesidad de una mejora continua que permita detectar disfunciones en la instalación y la definición en tiempo real de la estrategia óptima de producción, consumo y acumulación, es decir gestión energética. En el tema de verificación de ahorros no existe una metodología cerrada para llevarlo a cabo, aunque sí ciertos estándares bastante referenciados como los de ASHRAE y EVO [19], [20]. Sin embargo sí está clara la necesidad de establecer la línea base de consumo del edificio. A su vez, la gestión energética de un edificio requiere tener una línea base de consumo que permita saber en tiempo real si el consumo medido está dentro de lo esperable, e incluso poder hacer una previsión en diferentes bases temporales para establecer las diferentes estrategias de consumo, producción y almacenamiento de energía.

En conclusión el sector de edificios existentes debe ser rehabilitado, para ello aparece la necesidad de implementar medidas de ahorro de energía rentables (primera necesidad). Una vez implementadas se requiere una vía para la verificación del ahorro vinculado con las medidas (segunda necesidad). Y por último la mejora es continua y hay que implantar una política de gestión energética en el edificio (tercera necesidad). El trabajo que se presenta da solución a las dos primeras necesidades a través de una herramienta informática de fácil uso.

## 2. Objetivos

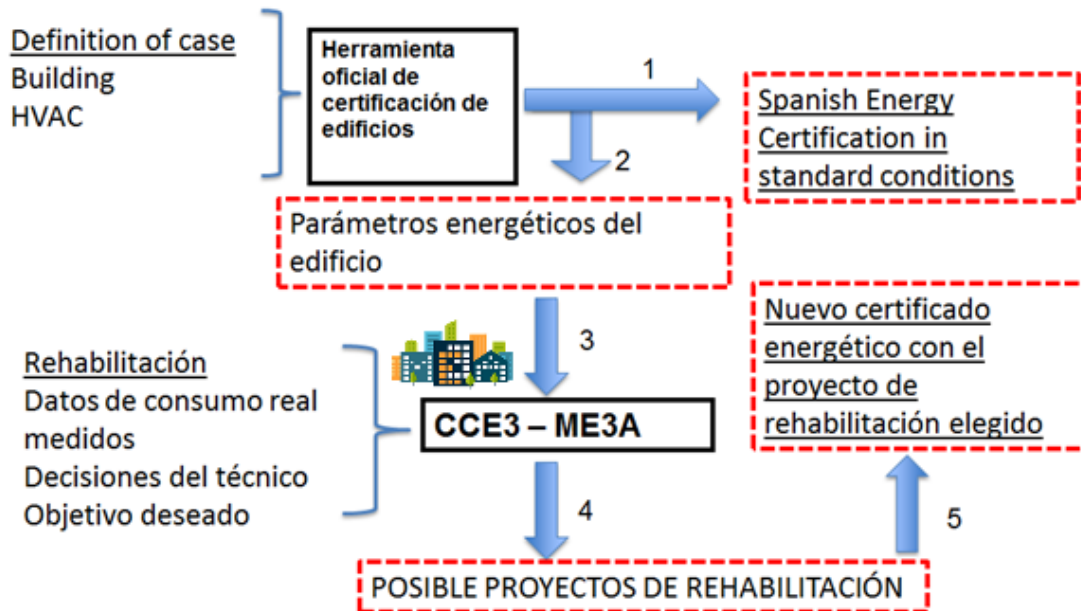
El objetivo científico principal del trabajo es la creación de una herramienta de simulación del comportamiento energético de edificios y sus sistemas que permita ser corregida a partir de datos experimentales procedentes de facturas o de mediciones de consumos. Para realizar esta corrección se desarrolla un procedimiento de obtención de líneas base de consumo que son comparadas con las estimaciones de la herramienta de simulación.

Este objetivo científico se vincula al objetivo técnico que es disponer de una herramienta para el diseño de proyectos de rehabilitación energética con mayor precisión. Y esto es así porque los ahorros pronosticados para las medidas o paquetes de medidas de mejora analizados son más fidedignos al ser corregidos con datos de consumo real.

## 3. Metodología

### 3.1. Esquema de simulación

El siguiente esquema muestra la estructura genérica de la metodología implementada en la herramienta:



**Figura 1: Esquema del software**

- Paso 1: la herramienta se conecta con las herramientas oficiales de certificación de edificios existentes de España. De esta conexión se extraen los parámetros energéticos del edificio, tales como rendimientos medios estacionales, características de la envuelta, factores de sombras... A partir de estos datos se establece un modelo simplificado en base mensual, regido por los principios del cálculo de la demanda térmica ideal en edificio de la norma ISO 13790 [21], añadiendo una corrección entre la demanda ideal calculada y la real; y un tratamiento de los sistemas generadores de calor y frío [22].
- Paso 2: una vez cargado el edificio, el usuario recibe información detallada para la diagnosis de su edificio. A partir de ella tiene la posibilidad de definir medidas de mejora para la envuelta, ventilación e infiltraciones, protecciones solares, sistema de climatización e iluminación.
- Paso 3: el usuario introduce el valor de consumo mensual desglosado en los servicios que estén presentes en su edificio, junto con los datos climáticos referentes a ese consumo. A partir de estos datos se realiza la corrección del modelo simplificado
- Paso 4: el sistema estudia de forma automática todas las medidas y sus combinaciones a partir del modelo simplificado. El producto de este estudio son los paquetes de medidas óptimos que cumplen con los requerimientos exigidos por el usuario.
- Paso 5: a partir de los paquetes óptimos ofrecidos el usuario elige los más interesantes. La herramienta genera un informe detallado con los resultados e

implicaciones de estas medidas, y además permite volver a conectarse con la herramienta oficial para obtener el nuevo certificado energético cuando se llevan a cabo esos paquetes de medida elegidos.

Por tanto, el primer desarrollo que proporciona esta herramienta es una serie de indicadores energético del edificio y sus sistemas, basados en la base de datos que ha permitido la elaboración de las actuales políticas energéticas en el sector edificatorio en España [23]. Esta solución sí es dependiente de las condiciones climáticas, de la tipología de edificio y del grado actual de desarrollo de la tecnología, es por ello que existen referencias que adoptan esta teoría [24]. Por consiguiente cubre la primera necesidad anteriormente comentada.

En segundo lugar, la herramienta permite la definición técnica y económica de las medidas de mejora de mayor aplicabilidad en edificios, realizando un estudio simplificado energético y económico que se apoya en los conceptos del costoptimal. Sin embargo para que los resultados sean fidedignos con la realidad del edificio, la herramienta requiere los datos de facturas desglosados. A partir de ellos se elabora un modelo simplificado de línea base del edificio a partir de datos de consumo real, en el que aparecen de manera explícita los parámetros energéticos del edificio y sus sistemas. Este modelo es el que permite realizar el diagnóstico de la situación de partida y estimar la influencia que tiene cada medida y la combinación de las mismas.

### 3.2. Fundamentos

El desarrollo principal aparece vinculado al cálculo simplificado del consumo energético del edificio, tanto para calefacción como para refrigeración. El fundamento de este desarrollo está vinculado a la norma UNE 13790 [25,26] para el cálculo del consumo de climatización del edificio, pero realizando una serie de modificaciones para adaptar sus capacidades a los siguientes requerimientos:

- Un procedimiento que permita corregir resultados de la herramienta detallada BEPS, e incluso calibrar de forma global la propia herramienta.
- Un modelo simplificado mensual/estacional apto para identificación de medidas de ahorro, u orientaciones en la fase de diseño del edificio. Al poder obtener los resultados calibrados y los ahorros corregidos, se podrían inferir con más exactitud las influencias de las posibles medidas de ahorro; e incluso, análisis paramétricos rápidos y entendibles.
- Un desarrollo capaz de ser integrado en una metodología antifraude de los procedimientos de certificación.

La formulación del consumo de climatización queda [27]:

$$C_{CLIMA}=C_{PH}+C_{PC}+C_{TP}+C_{TS}+C_{DWH} \quad (1)$$

La expresión anterior es la suma del consumo para la producción de calor  $C_{PH}$ , producción de frío  $C_{PC}$ , transporte de agua  $C_{TP}$ , transporte de aire  $C_{TS}$  y agua caliente sanitaria  $C_{DWH}$ . Haciendo zoom en los componentes más relevantes, resultaría:

$$C_{PH}=D_H \cdot RD_H \cdot [(1-FRH)/SCOP+FR_H/SCOP_{REN}] \quad (2)$$

$$C_{PC}=D_C \cdot RD_C \cdot [(1-FR_C)/SEER+FR_C/SEER_{REN}] \quad (3)$$



En primer lugar la demanda ideal de espacio para mantener las consignas [ $\text{kWh/m}^2$ ],  $D_H$  y  $D_C$  en calefacción y refrigeración respectivamente, queda modelada en función del clima y de la geometría/construcción del edificio con la siguiente formulación:

$$D_H = a_H \cdot Q_{LH} - b_H \cdot UF_H \cdot (Q_{SUNC} + Q_{IGC}) \quad (4)$$

$$D_{REF} = a_C \cdot (Q_{SUNC} + Q_{IGC}) - b_C \cdot UF_R \cdot Q_{LC} \quad (5)$$

Las demandas quedan como función de las pérdidas de calor a través de la envuelta del edificio y sus infiltraciones,  $Q_{LH}$  y  $Q_{LR}$  en calefacción y refrigeración respectivamente; las ganancias solares,  $Q_{SUNH}$  y  $Q_{SUNC}$ ; y las fuentes internas debidas a la ocupación, equipos e iluminación (uso del edificio),  $Q_{IGH}$  y  $Q_{IGC}$ . Estos flujos de calor son función de los parámetros característicos del edificio, variables climáticas, condiciones de ocupación y funcionamiento del edificio; y se obtienen de la simulación detallada o de una auditoría previa. Por ejemplo, las pérdidas en calefacción a través de la envuelta y las infiltraciones resultan:

$$Q_{LH} = \rho \cdot C_P \cdot V \cdot ACH_{eq} \cdot 24 \cdot GD_{20}/3600 + U_M \cdot A_T \cdot 24 \cdot GD_{20}/3600 \quad (6)$$

Dónde  $\rho$  es la densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_P$  el calor específico ( $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ ),  $V$  el volumen del edificio ( $\text{m}^3$ ),  $GD_{20}$  los grados día 20 referido al mes de cálculo del flujo de calor, y  $U_M$  el valor de transmitancia media del edificio para el área de transferencia  $A_T$  tenida en cuenta.

Hay que destacar que el efecto de la inercia del edificio aparece vinculado al factor de utilización  $UF_H$  y  $UF_C$ , calefacción y refrigeración respectivamente. Para su formulación se han usado las directrices que aparecen en la estándar [25], junto con algunas publicaciones que analizan este término como [28].

A su vez los coeficientes  $a_H, b_H, a_C$  y  $b_C$  son los parámetros de ajuste que corrigen las hipótesis del modelo simplificado con respecto a los resultados del modelo de orden superior usado, por ejemplo el efecto de las intermitencias del equipo y del edificio. Por tanto son los coeficientes que permiten la reducción del modelo detallado hasta el modelo simplificado.

Además la relación de demandas,  $RD_{CAL}$  y  $RD_{REF}$  de calefacción y refrigeración respectivamente, son un parámetro que traduce la demanda ideal sobre el local a la cantidad de energía que tiene que producir el sistema de climatización, teniendo en cuenta pérdidas, energía latente, efecto de las medidas sobre el sistema secundario...

A su vez, en la expresión anterior la contribución de energías renovables para satisfacer la demanda de calefacción  $FR_{CAL}$  y de refrigeración  $FR_{REF}$ .

Por último, el rendimiento medio estacional de producción de calor SCOP y frío SEER se descompone en dos para tener la posibilidad de que el sistema que utiliza dichas fuentes de energía renovables puede tener un rendimiento distinto ( $SCOP_{REN}$  y  $SEER_{REN}$ ) del sistema de producción de convencional que se indica en la ecuación (2) y (3).

Todos los parámetros que se necesitan para el cálculo del consumo pueden proceder de una simulación detallada o de una base de datos previa. Esta última opción aumenta la versatilidad del modelo como herramienta simplificada.

Esta formulación se puede interpretar de la siguiente forma: el consumo de climatización de un edificio es la suma del consumo de sus sistemas de producción de calor y frío, el consumo por transporte de agua y el consumo por transporte de aire. Como ejemplos de sistemas de producción de calor y frío podemos mencionar las calderas o las bombas de

calor, los sistemas utilizados para el transporte de agua son las bombas y los ventiladores son los sistemas de transporte de aire. Cabe destacar que en edificios de viviendas y en pequeño y mediano terciario, no aparecen consumos debidos a transporte puesto que los sistemas que dan servicio a este tipo de edificios carecen de ellos. Lo anterior implica que si el edificio tiene sistemas en los cuales exista bombeo de agua y/o movimiento de aire mediante ventiladores, y se quiere tener en cuenta su efecto en el consumo, es necesario utilizar el método de grandes edificios terciarios.

En edificios terciarios, para obtener el consumo total, habría que añadir al consumo de climatización el consumo de iluminación que se expresa matemáticamente según:

$$C_{\text{ILUM}} = P \cdot S \cdot N \quad (7)$$

Donde aparecen los siguientes términos: P, potencia instalada en cada zona en W/m<sup>2</sup>; S, superficie de la zona; y N, número de horas de funcionamiento según el horario de uso del edificio. Estos parámetros son un producto básico de inventario energético que se requiere realizar previo a la intervención sobre el edificio.

Los parámetros energéticos que definen este modelo simplificado mensual se convierten en los indicadores para la diagnosis térmica del edificio. Es por ello que ME3A cuenta con una base de datos obtenida vía simulación masiva de edificios y consultando la literatura disponible de los rangos esperados de cada uno de ellos, como función del clima, del tipo de edificio su uso, y/o del tipo de sistema de climatización.

### 3.3. Corrección/Calibración usando datos medidos

La filosofía con la que el modelo mensual se vincula con las herramientas de simulación y las facturas se muestra en la siguiente figura.





**Figura 2: Diagrama de corrección del uso y del clima a partir de datos medidos**

Si se analiza la figura inferior, se puede ver como se han representado resultados de la demanda ofrecidos por el modelo mes a mes, contra los mejores valores de consumo reales que se tienen. Esta representación permite analizar el caso a estudio, y obtener la corrección óptima de los resultados. Esta corrección será válida para toda la estación, ya que los coeficientes correctores son constantes y diferentes en calefacción y refrigeración. Esta opción puede ser entendida como la máxima aplicabilidad de los datos de facturas: obtenido el modelo simplificado a partir de los datos de simulación (forma del modelo, constante de tiempo...), se procede a su ajuste a partir de los datos reales de facturas. El ajuste “real” proporciona los valores de los coeficientes que multiplican a las variables climáticas. Estos coeficientes pueden ser desglosados cuando se compara el modelo de identificación con facturas con los modelos simplificados anteriores:

$$C_{H-i} = F_{CH1} \cdot GD_i + F_{CH2} \cdot IS_i + F_{CH3} \quad (8)$$

$$C_{C-i} = F_{CC1} \cdot GD_i + F_{CC2} \cdot IS_i + F_{CC3} + F_{CC4} \cdot GD_{NIGH-i} + F_{CC5} \quad (9)$$

Si se formula así, se puede identificar los coeficientes  $F_{CH1}$ ,  $F_{CH2}$ ,  $F_{CH3}$ ,  $F_{CC1}$ ,  $F_{CC2}$ ,  $F_{CC3}$ ,  $F_{CC4}$  y  $F_{CC5}$  usando datos de consumo medido y los datos climáticos de cada mes  $i$ :  $GD_i$  (grados día 20 para calefacción y 25 para refrigeración), grados día durante la noche  $GD_{NIGH-i}$  y la integral de radiación sur incidente  $IS_i$ . De esta forma el modelo puede ser usado como una línea base mensual del edificio para verificación de ahorros.

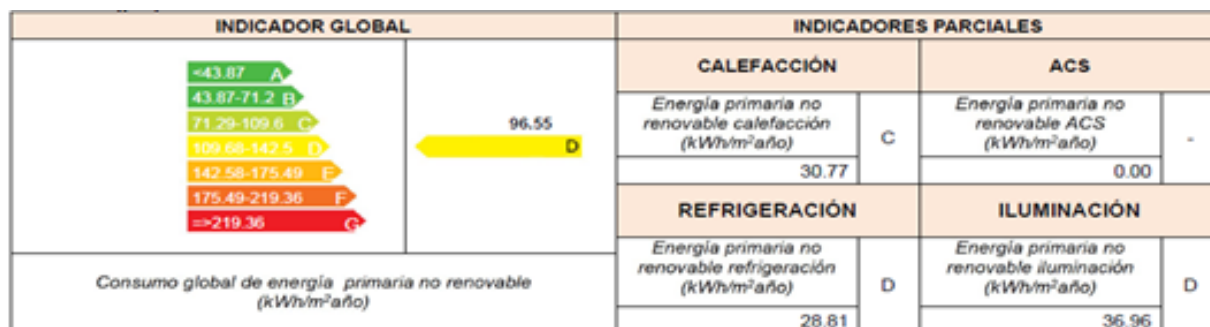
#### 4. Resultados (caso a estudio)

La Universidad Pablo de Olavide, de Sevilla, es una universidad pública que apuesta por una enseñanza de calidad. Situada en un campus único con más de 136 hectáreas la docencia, la investigación y actividades sociales y deportivas. En particular el edificio a estudio es el “José María Blanco White”, construido en 1956 y reformado en 2000, consta de dos plantas sobre rasante de forma sensiblemente rectangular, y una planta bajo rasante (superficie construida 1948.16 m<sup>2</sup>). El edificio y sus sistemas han sido definidos en la herramienta de simulación con el máximo detalle posible.



**Figura 3: Edificio estudiado**

El diagnóstico del edificio se le presenta al usuario en forma de escalas, como muestra la siguiente imagen:

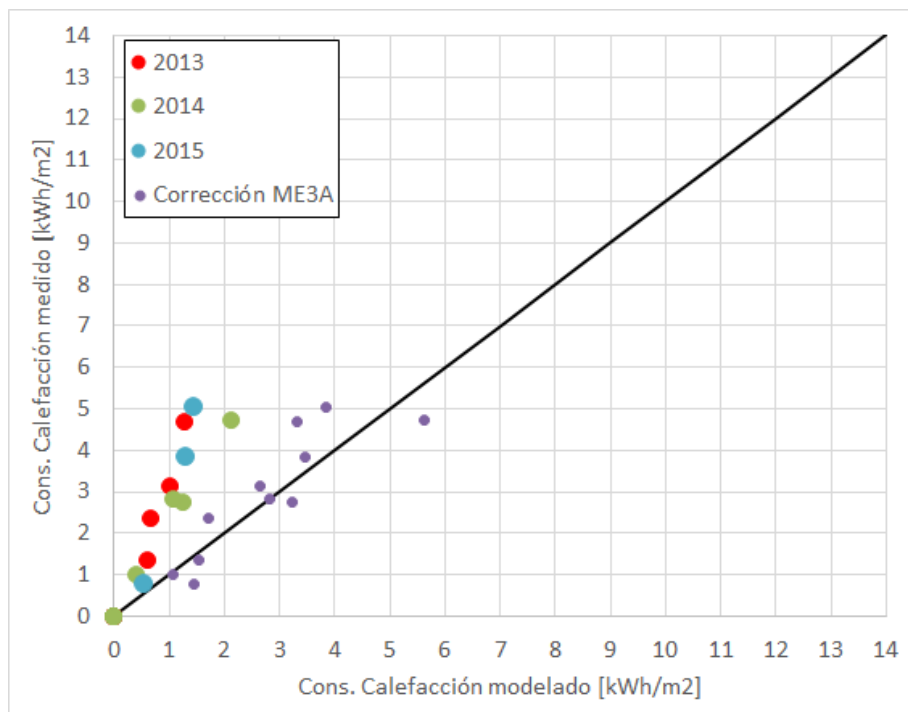


**Figura 4: Ejemplo de indicadores energéticos calculados por la herramienta**

Estas escalas hacen referencia al indicador global de Eficiencia y emisiones del edificio, y a indicadores parciales de la demanda y consume por cada uno de los servicios presentes en el edificio.

Con el diagnóstico se evalúan los parámetros que caracterizan el consumo de climatización. Por ejemplo el rendimiento medio estacional de producción de calor SCOP toma un valor de 2.13, que está dentro del intervalo que ME3A ofrece [1.4;4.5]; en cambio el SEER es de 1.6 y el intervalo esperado es de [2;3.33] por lo que del catálogo de medidas convendría selección una medida de mejora del rendimiento medio de producción de frío. Se han contemplado más de 7 medidas para la reducción de la demanda de calefacción y refrigeración, 3 medidas para la mejora de los sistemas secundarios y 2 medidas para la mejora de los sistemas primarios y de transporte de aire.

En Segundo lugar, se corrigen los resultados de la simulación detallada usando el modelo simplificado comentado anteriormente y los datos de facturas. Este proceso se realiza con los datos climáticos de 2013, 2014 y 2015. La siguiente figura muestra como los datos estimados vía simulación con el clima real (abcisas) tienden a infravalorar los consumos energéticos reales (ordenadas). De ahí que ME3A corrija estos consumos hasta la situación presentado en color púrpura.



**Figura 5: Comparación entre la herramienta sin corregir (roja, verde y azul para diferente años) y la herramienta corregida usando datos de consume medidos (morado).**

Una vez introducidas las medidas en ME3A se obtienen los resultados de porcentaje de ahorro energético para las distintas combinaciones de las medidas seleccionadas. A continuación se muestran los resultados de % ahorro energético del edificio usando el modelo sin corregir y corregido usando los datos de facturas para las medidas más interesantes desde el punto de vista energético y económico. Las medidas tenidas en cuenta son: REC: recuperador de calor de eficiencia media 80%; EVAP: Mejora de primarios por reducción de temperatura de condensación con incorporación de sistema evaporativo; AIS: Mejora de la epidermis por aumento del nivel de aislamiento; y Base: situación energética de partida

La tabla indica las tres medidas elegidas y sus combinaciones: mejora del aislamiento de la epidermis como mejora de demanda MD, incorporación al sistema de climatización de un recuperador de alta eficiencia REC como medida de secundarios MS, e incorporación de sistemas evaporativos a los aerocondensadores.

**Tabla 1: Selección de las mejores medidas de eficiencia energética para el caso a estudio**

MD	MS	MP	Consumo energético [kWh/m <sup>2</sup> ]	% Ahorro energético sin corrección	% Ahorro energético con corrección
AIS	REC	EVAP	3	49	36
AIS	BASE	EVAP	4	45	33
BASE	REC	EVAP	4	44	32

BASE	BASE	EVAP	4	40	29
AIS	REC	BASE	5	16	11
AIS	BASE	BASE	6	9	6
BASE	REC	BASE	6	8	6

De los resultados comentar que la combinación de todas las mejoras produce un ahorro del 49% en el consumo del edificio, pero que una vez corregido pasa a tomar un valor del 36%. La corrección de ahorros modifica completamente los valores del TIR y payback calculados a partir de estos ahorros.

Para finalizar hay que comentar que la mejora de primarios produce un ahorro del 40%, como se muestra en la opción 4 de la tabla, y como en las opciones 1,2 y 3 el ahorro no cambia sustancialmente al añadir el resto de mejoras. Esto significa que la medida en sistemas es la de mayor potencial, y que en función del coste, el ahorro del 6% que produce el recuperador, o del 6% que produce la mejora de aislamiento pueden o no desbancarla como la de mayor interés económico.

## 5. Conclusiones

La herramienta desarrollada presenta una ventaja relevante con respecto a las herramientas existentes, ya que permite la corrección de los resultados de una simulación energética convencional a partir de datos de consumo medidos. Esta corrección reduce la incertidumbre que tienen las herramientas de simulación, y sobre todo permite una estimación de ahorros de mayor calidad.

Las conclusiones más relevantes son:

- Se ha desarrollado una herramienta que se conecta de manera automática con la metodología oficial de certificación de edificios existentes. Permitiendo obtener el nuevo certificado energético una vez elegido el proyecto de rehabilitación a llevar a cabo.
- La herramienta tiene una interfaz fácil y un gasto computacional moderado.
- A diferencia de las herramientas de simulación del comportamiento energético de edificios, y de los complicados métodos de calibración de las mismas; se ha desarrollado una vía de corrección de resultados dependiente del clima, de los datos de consumo reales medidos y de las características del edificio.
- La metodología implementada en la herramienta da solución a la creación de líneas base para verificación de ahorros y gestión energética. Pudiendo además desarrollar una plataforma para su conexión con datos experimentales medidos en tiempo real.

## Agradecimientos

La metodología y el software que aquí se presentan son resultados del proyecto “ME3A – Mejora de la Eficiencia Energética de los Edificios en Andalucía” ([www.ME3A.es](http://www.ME3A.es)). Ref.: PI11/57089, financiado por la Conserjería de Economía y Conocimiento (Junta de Andalucía, España). Además agradecer a Fernando Aguilar Cerezo de la Universidad Pablo

de Olavide por proporcionar los datos y colaborar en el desarrollo del caso a estudio; y a María del Carmen Guerrero Delgado junto con Raúl González Blanco por haberlo hecho posible.

## 6. Referencias

- [1] E. Commission, “Web Oficial H2020,” 2013. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>.
- [2] IEA, “Technology Roadmap.- Energy efficient building envelopes and Technology Roadmap,” 2014.
- [3] IEA, “Technology Roadmap. - Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment,” 2014.
- [4] IEA, “Energy Efficiency in Europe: Overview of policies and good practices,” 2014.
- [5] E. Commission, *Directive 2010/31/EU, The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. 2010.
- [6] E. Commission, *Regulation No. 244, Commission Delegated Regulation (EU) N.º 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology fram*. 2012, pp. L81/18–L81/36 (2012).
- [7] I. O. for Standardization, “ISO 50001:2011(E). International standard, energy management systems – requirements with guidance for use,” 2011.
- [8] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, R. González, and I. R. Maestre, “A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 3, pp. 272–278, 2009.
- [9] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, I. R. Maestre, and J. F. Coronel, “Constructing HVAC energy efficiency indicators,” *Energy Build.*, vol. 47, pp. 619–629, Apr. 2012.
- [10] S. Wang, C. Yan, and F. Xiao, “Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings,” *Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, Cool World*, vol. 55, no. 0, pp. 873–888, 2012.
- [11] I. Farrou, M. Kolokotroni, and M. Santamouris, “A method for energy classification of hotels: A case-study of Greece,” *Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, Cool World*, vol. 55, no. 0, pp. 553–562, 2012.
- [12] A. Khemiri-Enit and M. Annabi-Cenaffif, “Models for energy conservation to be used in energy audits,” *World Renew. Energy Congr. Renew. Energy, Energy Effic. Environ.*, vol. 9, no. 1–4, pp. 1299–1302, 1996.
- [13] E. Commission, *Guidelines Regulation No. 244, Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) N.º 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establis*. 2012, pp. C115/1–C115/28 (2012).
- [14] E. Commission, *EPBD recast (2010), Directive 2010/31/EU of the European*

*Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. 2010.

- [15] M. Ferrara, E. Fabrizio, J. Virgone, and M. Filippi, "A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings," *Energy Build.*, vol. 84, pp. 442–457, Dec. 2014.
- [16] M. Hamdy, A. Hasan, and K. Siren, "A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010," *Energy Build.*, vol. 56, pp. 189–203, Jan. 2013.
- [17] A. Brandão de Vasconcelos, M. D. Pinheiro, A. Manso, and A. Cabaço, "EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building," *Energy Build.*, vol. 111, pp. 12–25, Jan. 2016.
- [18] N. G. Sağlam and A. Z. Yılmaz, "Progress towards EPBD Recast Targets in Turkey: Application of Cost Optimality Calculations to a Residential Building," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 973–978, Nov. 2015.
- [19] EVO, "International Performance Measurement and Verification Protocol," 1999.
- [20] R. and A. C. E. ASHRAE American Society of Heating, "Guideline 14 - Measurement of energy and demand savings." 2002.
- [21] ISO, "Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling," *ISO/FDIS 13790:2007(E)*. 2007.
- [22] L. Pérez-Lombard Martín de Oliva, "Metodología de análisis de eficiencia energética de sistemas de climatización: aplicación a edificios del sector terciario," Universidad de Sevilla, 2008.
- [23] Ministry of Development - Government of Spain, *FOM/1635/2013, update Basic document DB-HE "Energy Saving" of Royal Decree-Law 314/2006*. 2013.
- [24] G. Dall'O', L. Sarto, N. Sanna, V. Tonetti, and M. Ventura, "On the use of an energy certification database to create indicators for energy planning purposes: Application in northern Italy," *Energy Policy*, vol. 85, pp. 207–217, Oct. 2015.
- [25] AENOR, "Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios. (ISO 13790:2008)," *UNE-EN ISO 13790*. 2011.

#### **Correspondencia (Para más información contacte con):**

Nombre y Apellido: José Sánchez Ramos

Teléfono: +34652181644

E-mail: jsr@us.es

#### **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir,



distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.