

Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes

## **BASES METODOLÓGICAS PARA EL USO DE TECNOLOGÍA BIM COMO HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN REHABILITACIÓN**

**<sup>1</sup>Chaza Chimeno, M. R.; <sup>2</sup>Fernández Rodríguez, J. F.; Quiñones Rodríguez, R.  
Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación  
E.T.S. Ingeniería de la Edificación. Universidad de Sevilla  
Avenida Reina Mercedes 4A. 41012. Sevilla  
e-mail: <sup>1</sup>chaza@us.es; <sup>2</sup>jfernandez52@us.es**

### **RESUMEN**

La presente comunicación parte de una línea de investigación iniciada en el departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de la Universidad de Sevilla, que pretende implementar el uso de los modelos BIM dentro del campo de la rehabilitación energética.

El objetivo de la investigación será desarrollar el uso de nuevas tecnologías de diseño BIM (Building Information Modeling) como herramienta de simulación tendente a la mejora energética de edificios existentes y arquitectura patrimonial a rehabilitar, mediante la construcción de modelos virtuales para el estudio integral y simulación de eficiencia energética de los mismos.

Dicho modelo permitirá integrar el propio desarrollo de proyecto con la simulación energética, de forma que decisiones de proyecto puedan irse ensayando de manera simultánea y conocer así la incidencia energética de las diferentes soluciones planteadas.

Para ello planteamos la metodología de trabajo que a continuación se resume y que se desarrollara a continuación:

1. Visita y toma de datos inicial del edificio, con el objetivo de construir una maqueta virtual sobre la que trabajar en la plataforma BIM.
2. Simulación inicial para conocer la situación energética de partida del edificio.
3. Propuesta de mejoras a llevar a cabo en la edificación (desarrollo del proyecto de rehabilitación energética).
4. Simulación energética del modelo basado en tecnología BIM de manera simultánea al desarrollo del proyecto, para conocer la incidencia y mejora que cada una de las soluciones planteadas aporta.
5. Obtención de la certificación energética final del edificio rehabilitado.

A partir de este análisis los resultados esperados fruto de la investigación realizada serán:

1. Creación de un protocolo de auditoría energética específico para la rehabilitación de edificación existente, mediante la utilización de herramientas BIM.
2. Generación de un patrón de comportamiento energético de las diferentes soluciones ensayadas, de forma que pueda estimarse la incidencia en el ahorro energético global del edificio de cada una de las acciones propuestas, y a partir de éste el ahorro económico de cada una de ellas a medio y largo plazo.

Keywords: Rehabilitación energética, BIM, Eficiencia, Metodología

## 1.- Introducción.

Situándonos en el contexto de crisis económica y energética en el que nos encontramos, y que parece afectar especialmente al sector de la construcción, resulta de interés dirigir el análisis y el debate público generado en torno a este tema hacia el mercado energético y las implicaciones del cambio climático, tanto en las políticas de mitigación como de adaptación, realizando un especial énfasis en la minimización del impacto provocado por el sector de la edificación y rehabilitación, buscando con ello el desarrollo de edificios y en definitiva ciudades, sostenibles.

Dentro del sector de la construcción parece interesante plantear como primer objetivo, analizar la situación energética real del parque edificatorio existente y cuantificar las mejoras energéticas que pueden conseguirse por medio de la rehabilitación, dado que será ésta la disciplina que previsiblemente primero se reactivará dentro del sector.

La rehabilitación energética, por tanto, se presenta como una línea de trabajo que optimizará la eficiencia energética de edificaciones existentes, pondrá en valor y uso parte del parque edificatorio ya construido, contribuyendo a la reutilización del mismo y a la reactivación de forma paulatina del sector de la construcción, y reducirá la dependencia energética en la que actualmente vivimos, de fuentes relacionadas con el petróleo.

Numerosos reglamentos y normativas de carácter nacional y europeo pugnan por la investigación y el desarrollo de acciones en la línea de la rehabilitación energética, y plantean un calendario de adaptación a los mismos de forma que progresivamente edificios nuevos, tanto públicos como privados, presenten un consumo de energía casi nulo (objetivo 20-20-20) e igualmente se plantea para el caso de la rehabilitación.

A nivel nacional este objetivo se traduce en la ley de Economía Sostenible, para edificación existente, que aprueba el procedimiento básico de certificación energética en estos casos, que tendrá como objetivos la reducción de consumo de energía y emisión de CO<sub>2</sub>, promover la eficiencia energética y dar calificación energética al edificio (de A a D para edificios de nueva construcción y de A a G para los existentes).

En lo que a eficiencia energética se refiere, no deberíamos plantear el tema desde el punto de vista de proyección (de obra nueva y rehabilitación) y certificación como procesos independientes, ni siquiera consecutivos. Parece que lo realmente interesante sería trabajar ambas cuestiones a la vez, que una se alimente de la otra, de forma que estemos hablando de auténtica construcción sostenible. Surge por ello la necesidad de introducir en el proceso de proyecto la certificación energética como una variable más sobre la que trabajar y no como una consecuencia de las decisiones de proyecto tomadas. Se hace preciso por ello contar con una herramienta capaz de gestionar de manera integral el proceso de proyecto, y parece que el BIM nos ofrece esa posibilidad.

Se propone trabajar con una herramienta que considerará durante el proceso de diseño de la obra nueva, pero también de la rehabilitación, criterios sostenibles. Orientaciones, apertura de huecos o espesores de cerramiento, definidos inicialmente en el modelo virtual BIM de trabajo, nos irán indicando en que rango

energético se mueve nuestro edificio y nos permitirá definir las características de los mismos para que contribuyan, de manera pasiva, a la eficiencia del mismo, sin realizar una mayor inversión.

## 2.- Estado de la cuestión.

Antes de comenzar a hablar de la herramienta BIM como plataforma de trabajo para la simulación y certificación energética analizaremos que otras herramientas encontramos en la actualidad en el mercado a nivel nacional e internacional, para poder así determinar en que aspectos la herramienta BIM supone una mejora a lo ya existente.

Comenzaremos hablando de herramientas de estudio de indicadores de eficiencia energética de ámbito internacional, como son **LEED** y **HADES**.

**LEED** (acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design) desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council), se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. Existen cuatro niveles de certificación: certificado (LEED Certificate), plata (LEED Silver), oro (LEED Gold) y platino (LEED Platinum).

La certificación, actualmente de uso voluntario, tiene como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción.

**HADES**, acrónimo de Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles y desarrollado con la colaboración de la Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas, Ministerio de Fomento, es una herramienta pensada para ayudar al proyectista en el proceso de diseño, cuantificando las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en el proyecto.

Para realizar un edificio sostenible es importante que se definan los objetivos que se quieren alcanzar desde las primeras fase de diseño y toma de decisiones en el proyecto. HADES es una herramienta de ayuda al diseño de edificios, basado en la metodología de evaluación y certificación ambiental de edificios VERDE.

El sistema empleado para la herramienta de ayuda al diseño HADES mezcla dos tipos de información; medidas incorporadas a proyecto y los impactos asociados a las medidas. Esto conduce al propósito de resolver dos funciones: Guiar los promotores y proyectista en el intento de diseñar edificios de alto rendimiento ambiental y permitir evaluar el proyecto de la forma más objetiva posible.

Además de ésta podemos hablar de otra herramienta, esta centrada en la evaluación de emisiones de CO<sub>2</sub> fundamentalmente, encontramos el **protocolo IPMVP** auspiciado por la organización Efficiency Valuation Organization, **EVO**, que parece abrirse paso como uno de los principales estándares internacionales de medida y verificación de ahorros, ya que responde a los requerimientos exigidos y

permite aplicarse bajo el control de técnicos certificados como CMVP (Certified measurement and verification professional). El representante de EVO en España es **Energylab**.

El cálculo se basa en la comparación de consumos entre un periodo de referencia y una línea base, acordada ésta desde el principio junto con una serie de ajustes rutinarios (condiciones climatológicas, nivel de ocupación, horario de operación) y no rutinarios (modificaciones constructivas, sustitución de equipos, parámetros de consigna) que se computarán para cada periodo de cálculo. El incumplimiento de los indicadores de confort por parte de la ESE (temperaturas, ventilación, iluminación) podrán evaluarse en términos energéticos con el Plan M&V.

Otros programas y herramientas que se están implementando actualmente con base tecnológica en **CALENER GT** son **EQUEST**, **ECOTECT** y la herramienta **HACE**, que plantea como novedad la posibilidad de poder certificar viviendas o locales e manera individual, sin tener que obtener la certificación de todo el edificio, entendiéndose además que la certificación de una vivienda no tiene por qué ser igual a otra dentro del mismo edificio, ya que influirían numerosos parámetros como la orientación etc...

En esa línea, la **tecnología BIM** pugna por introducir en su proceso de gestión integral de la edificación a la eficiencia energética como elemento a tener en cuenta en el desarrollo y toma de decisiones del desarrollo de cualquier proyecto (más aún cuando se trata de un proyecto de rehabilitación energética). Por ello se están desarrollando por parte de los principales productores de BIM (Archicad, Revit y Nemetscheck entre otros) herramientas que integradas en la misma interface de desarrollo del proyecto de arquitectura permita simular y evaluar la situación energética del edificio a tiempo real, de forma que sin tener que realizar un trabajo adicional de generar un modelo de ensayo de eficiencia energética distinto del de cálculo de estructura, instalaciones, o de la propia herramienta de delineación de planos y generación de infografías, podamos construir una maqueta virtual que integre todos los aspectos que intervengan en el proyecto y puedan simularse a la vez, trabajando a la vez en las posibles interferencias entre una y otra disciplina y resolviendo posibles conflictos desde el desarrollo del proyecto.

### **3.- La rehabilitación energética como integrante del proceso de auditoría.**

Para comenzar a hablar de rehabilitación energética señalaremos que lo óptimo sería enmarcarla dentro del proceso de auditoría energética. Para ello definiremos a grandes rasgos cual sería el procedimiento deseado a seguir en un proceso de auditoría.

3.1. En primer lugar partiríamos de la visita y toma de datos inicial del inmueble objeto de análisis. Este estudio iría seguido de una primera evaluación energética (certificación inicial) que nos aporte la información del punto en el que se encuentra nuestro edificio, y poder así calificarlo energéticamente hablando.

3.2. Tras eso lo normal sería realizar una serie de propuestas de mejora que incidan en la disminución del consumo energético del inmueble y su impacto ambiental, con la consecuente evaluación de costes. Este proceso de estudio de actuaciones a llevar a cabo en la edificación sería el origen del proyecto de rehabilitación energética que, como ya indica su nombre, tendrá como objetivo llevar a cabo una obra de mejora de la edificación existente en aquellos puntos que incidan en el



actualizaciones de sus especialidades, permitiendo una coordinación en tiempo real, lo que se podrá lograr siempre y cuando todos ellos utilicen los mismos programas o herramientas digitales, por ende deberán pasar del CAD al BIM, situación que se está iniciando lentamente en nuestro país. Por el momento, el uso del sistema se puede realizar por medio de Coordinadores de proyectos BIM, quienes son capaces de modelar 3D en base a un 2D de CAD, los distintos proyectos y vincularlos para detectar conflictos.

La eficacia de los procesos constructivos centralizados en una única base de datos atacada por todos los programas implicados en el proyecto facilita la tarea planificadora y creativa y permite visualizar en 3D aquellas cosas que hasta ahora solo podíamos imaginar en 2D sobre la pantalla. El principal beneficio en el empleo de estas herramientas es que se logra una importante mejora de los proyectos en tanto reportan los cruces e interferencias entre las distintas especialidades intervinientes, por lo que se logra una mayor coordinación entre ellas.

La metodología consiste en construir un modelo virtual, ajustado a la realidad en términos de diseño (dimensiones, materiales, clima entre otros), así como otros factores determinantes de un proyecto (plan de trabajo, calidad de materiales y componentes, puesta en obra, recursos humanos). Es decir, una simulación de la realidad que permite ensayar y llevar a cabo todos los cambios en el diseño, planificación o logística, antes que estos cambios incidan en la obra.

BIM, no es un software, es un proceso de representación del edificio basado en datos, y no sólo en su geometría. La informatización del proceso a través del software es lo que modifica por completo las reglas tradicionales del proyecto y su construcción. Facilita compartir datos (**Comunicación**), trabajar sobre los datos compartidos (**Colaboración**), realizar análisis previos a la construcción (**Simulación**), y usar estos resultados para mejorar el diseño (**Optimización**).

La tecnología BIM contempla todas las fases del proyecto y su construcción, con un nivel de detalle de proyecto de ejecución. Dispone de una base de datos multiarchivo, de forma que el proyecto puede estructurarse en cuantos archivos se desee, cada uno de ellos, al igual que el CAD con sus correspondientes capas. Para trabajar en equipo sólo hay que definir a qué archivos tiene acceso cada uno de los usuarios del sistema, o si estos han de ser compartidos o no. El sistema es muy flexible y permite trabajar en red con una gran agilidad. Un usuario puede abrir en una misma ventana de trabajo y editar a la vez dos o más archivos, sin ningún problema, y sin tener que organizar un sistema de referencias externas para ello.

Los principales programas BIM que se encuentran actualmente en el mercado son Revit (Autodesk), Archicad (Graphisoft) y Allplan (Nemetschek). Estos dos últimos ya hace muchos años que se comercializan y tienen una comunidad de usuarios bien consolidada en el mundo entero. Revit, a pesar de ser el último en llegar, ha entrado en el mercado con la seguridad que supone proceder de la misma compañía que el famoso Autocad.

## **5. Gestión del proyecto de rehabilitación energética mediante tecnología BIM.**

Una vez definido el procedimiento a seguir en un proceso de auditoría energética y la utilidad del uso de herramientas BIM en el desarrollo de cualquier proceso de proyecto de edificación, trataremos de vincular ambos, proceso y herramienta, para

dar como resultado un protocolo de trabajo en el desarrollo de proyectos de rehabilitación energética.

Para ello partiremos de la realización de un estudio de la edificación objeto de auditoría, que pasará por la visita y toma de datos con los que realizar una certificación energética inicial de la edificación. A partir de ésta se realizará una propuesta de mejora y como consecuencia una nueva certificación energética con la consideración de las mejoras propuestas. Evidentemente será necesario realizar también un estudio económico que evalúe el ahorro que la intervención proporcionará a la edificación en cuanto a gasto energético y la inversión inicial que requiere, de forma que las acciones propuestas estén proporcionadas al ahorro que producirán a medio y largo plazo.

Como decimos necesitaremos de la certificación energética de la edificación para conocer y cuantificar la situación energética de la misma. Para ello existen herramientas de simulación reconocidas por el ministerio de industria, CE3 y CE3X, que consiguen, mediante la entrada de una serie de datos geométricos y tipológicos, determinar la certificación energética de la edificación.

Está claro que para una certificación energética inicial de una edificación ya construida estas herramientas nos permiten definir la eficiencia energética en base a una serie de parámetros existentes y establecidos. Pero ¿qué pasa cuando nos encontramos inmersos en una segunda fase del proceso de auditoría, el de propuesta de mejoras o de redacción de un proyecto de rehabilitación energética?

Las herramientas antes mencionadas (CE3 Y CE3X) realizan una simulación energética de un proyecto ya ejecutado, dado que introducimos los datos finales que se han estimado para el mismo, pero sería interesante integrar en una misma herramienta el proceso de realización del proyecto y el de cálculo de eficiencia energética del mismo, de forma que los cambios que puedan irse realizando en el proyecto puedan irse simulando de manera simultánea, conociendo durante el proceso de proyecto, y no solo al finalizarlo, la situación energética de nuestro edificio y las ganancias o pérdidas energéticas generadas por las diferentes acciones realizadas en el mismo, de forma que se pueda proyectar teniendo en cuenta la repercusión de aspectos ambientales.

La tecnología BIM antes descrita nos permite llevar a cabo este trabajo, dado que en un mismo interfaz se integran herramientas de desarrollo de proyecto y de simulación energética. Nos permitirá realizar comprobaciones a tiempo real de la situación energética de nuestro edificio y de las diferentes intervenciones que realicemos en el mismo en el proceso de desarrollo del proyecto de rehabilitación energética.

Evidentemente integrar el cálculo de eficiencia energética en el propio proceso de proyecto resulta de interés dado que no será, como viene siendo hasta ahora, un simple cálculo realizado a posteriori una vez cerrado el proyecto sino que permitirá a los criterios energéticos incidir en la definición y diseño del edificio, pero además será una forma de cuantificar la mejora que la introducción de uno u otro elemento constructivo produce en la eficiencia energética del edificio.

Está claro que es fácil cuantificar el ahorro de consumo energético que introduce a un edificio la incorporación de renovables o la renovación de instalaciones y

maquinarias, pero resulta mucho más complejo determinar el ahorro energético que se produce en el consumo del edificio por la sustitución de una determinada carpintería, por la utilización de uno u otro espesor de aislamiento, por la influencia de la orientación, disposición y tamaño de huecos y por la influencia del soleamiento en el ahorro de energía.

Precisamente serán todos estos aspectos, relacionados con la envolvente del edificio, los que permiten reducir la transmitancia del edificio y reducir el consumo del mismo, y son precisamente los más difíciles de cuantificar. El uso de simuladores BIM integrados en el proceso de proyecto ayudará a establecer un estudio y tipificación de cómo la rehabilitación de la envolvente podrá producir ahorro energético e incidir en el ahorro económico que experimentará el edificio tras la rehabilitación energética.

Por todo ello plantearemos a continuación el proceso a seguir para la gestión de un proyecto de rehabilitación energética a través de tecnología BIM.



## 6.- Desarrollo del proyecto de rehabilitación energética con la herramienta BIM.

Como ya se ha señalado, lo primero sería llevar a cabo los pasos de visita y toma de datos de la edificación existente marcados como iniciales en un proceso de auditoría energética. Podría plantearse a partir de este punto, como se señaló anteriormente, la realización de una certificación energética inicial a partir de estos datos, aunque lo que haremos en este caso será realizarla una vez introducidos los datos en el sistema BIM y definido el modelo virtual inicial, entendiendo que el proceso no terminará en la certificación, sino que ese modelo servirá para continuar con el proceso de definición del proyecto de rehabilitación energética.

De esta forma, a partir de estos datos llevaremos a cabo la construcción de un modelo virtual BIM, con definición de la geometría existente, orientación, ubicación de huecos, definición de elementos y soluciones constructivas que conforman la envolvente del edificio (capas que conforman los cerramientos, tipología de cubierta, sistema empleado en cimentación, aislamiento con respecto al terreno etc...), soluciones estructurales y de instalaciones, incluyendo la toma de datos y medidas realizada en la visita inicial a la edificación (tipo de instalación, características de aparatos de climatización, calefacción, sistema eléctrico etc...)



En base a este primer modelo llevaremos a cabo una primera simulación que determine la certificación energética del edificio de partida, con carácter previo a la propuesta de mejoras.

Partiendo de ese dato de certificación inicial realizaremos la propuesta de mejora a incluir en el proyecto de rehabilitación energética sobre el modelo planteado. Para tratar el tipo de mejoras a realizar en el edificio las dividiremos en tres tipos:

- 6.1. Reducción de la demanda energética del edificio mediante la reducción de la transmitancia de su envolvente.
- 6.2. Reducción del consumo de equipos mediante la intervención y mejora del rendimiento de las instalaciones ubicadas en el edificio y encargadas de garantizar el confort térmico, lumínico y de salubridad del mismo.
- 6.3. Incorporación de energías renovables que reduzcan el consumo de otras fuentes energéticas altamente contaminantes y con mayor dependencia económica de los productores de la misma.

Como ya se señaló anteriormente, en general, resulta fácil determinar el ahorro energético que supone la sustitución de una determinada instalación o maquinaria en un edificio existente, y por tanto estimar el ahorro económico que esto supondría de cara a determinar si la inversión a realizar resulta adecuada a medio plazo. Igualmente la introducción de renovables supone un ahorro fácil de cuantificar, y de la misma forma se puede determinar si resulta o no rentable la introducción de las mismas en relación al ahorro-inversión inicial que se produzca.

Sin embargo, es en el apartado de la intervención sobre la envolvente en el que resulta más complicado estimar el ahorro generado y la relación entre ese ahorro y al inversión inicial a realizar. Sin embargo es el punto más importante sobre el que actuar, dado que será el que determine si aumenta o disminuye el consumo energético del edificio de cara a garantizar condiciones de confort en el mismo.

Existen hasta ahora pocos patrones de funcionamiento en cuanto a envolvente, a diferencia de con respecto a instalaciones y maquinarias, y precisamente es uno de los aspectos mas importantes sobre los que incidir al iniciar un proceso de rehabilitación energética.

Hablaremos por tanto, dentro de la rehabilitación energética de dos tipos de actuaciones; las pasivas, referidas a la envolvente del edificio y a su comportamiento energético como reductor de demanda en base a las soluciones adoptadas, y las activas, entendiendo por estas las intervenciones sobre las instalaciones, aparatos e introducción de renovables que traten de optimizar y reducir el consumo del edificio y la emisión de CO<sub>2</sub>.

Y son precisamente las primeras cuyo comportamiento energético parece más interesante analizar durante el propio proceso de proyecto, de forma que la apertura o cierre de determinados huecos, la modificación de sus dimensiones etc... y el estudio de soleamiento del mismo nos aporte datos sobre si es o no adecuado utilizar esos huecos o tiene más sentido abrir otros, durante el proceso de proyecto y no al final, dado que lógicamente una vez cerrado el diseño no será ese uno de los aspectos que modifiquemos al hacer la simulación energética tal y como la venimos entendiendo, sino más bien los aspectos relacionados con la rehabilitación activa.

Por ello se tratará de realizar un estudio de los diferentes aspectos que incidan en el comportamiento energético de la envolvente del edificio (simulación pasiva) que nos de como resultado un patrón de comportamiento de los mismos y de ahorro energético en función del uso de una u otra solución (y también de ahorro económico) para realizar después un análisis completo de elementos pasivos y activos que nos aporte el grado de certificación energética final de la intervención propuesta.

### **7.- Simulación interactiva del modelo en la plataforma BIM (simulación pasiva o de diseño).**

Como ya se ha señalado anteriormente uno de los aspectos a tener en cuenta dentro de la envolvente será la orientación de los diferentes paramentos y la apertura de huecos. Como partimos de un edificio existente las orientaciones del mismo ya estarán definidas (y serán las que emplearemos en el modelo virtual de trabajo), pero si que podremos realizar modificaciones en cuanto a la apertura o cierre de determinado huecos, su dimensión, análisis de apertura de los mismos en las orientaciones más favorables (atendiendo lógicamente también al clima en el que nos encontremos), ubicación de elementos de protección de los mismo etc... Una vez definida una primera solución y aprovechando el recursos de simulación para cálculo de soleamiento e iluminación natural que nos ofrece el programa realizaremos un análisis que determine la situación en cuanto a iluminación natural de nuestro edificio y simularemos igualmente las posibles alternativas sobre los aspectos antes mencionados para alcanzar la situación más favorable.

Igualmente, y una vez definidas las características y soluciones constructivas del edificio existente, y transferidos esos datos al modelo virtual, determinaremos las mejoras que sobre los elementos envolventes se podrían realizar (modificación de las capas constructivas que forman la fachada, aumento de la capa de aislamiento, modificación de la solución aportada para cubierta etc...) y con las soluciones estudiadas realizaremos simulaciones energéticas para determinar cuales resultan más favorables.

Una vez finalizado este proceso analizaremos los resultados de la simulación de la envolvente, de soluciones ensayadas y de mejoras en cuanto a exigencia de demanda energética del edificio. En el trabajo a desarrollar se plantea la realización de un análisis cuantitativo de las mejoras en cuanto a ahorro energético de cada una de las soluciones simuladas, y del ahorro económico que dichas soluciones aportarían, comparándolo con el coste de inversión en la rehabilitación de la envolvente del edificio, de forma que se establezca un patrón de funcionamiento de dichas soluciones en cuanto a energía de tipo cuantitativo.

### **8.- Simulación interactiva del modelo en la plataforma BIM (simulación activa o de instalaciones y equipos).**

Una vez analizada la envolvente, y partiendo de la situación de mínima transmitancia energética de la misma (o la más optimizada en relación calidad-precio) pasaremos a analizar los diferentes equipos e instalaciones de que consta el edificio. Como ya se señaló con anterioridad la herramienta BIM servirá para calcular las instalaciones definidas en nuestro proyecto, tras la definición de su trazado y tipología, de manera integral dentro del proceso de gestión del proyecto a desarrollar. Al igual que

comentábamos con respecto a la relación entre fase de diseño de la envolvente-estudio energético de la misma, en este caso trabajaremos las diferentes instalaciones y equipos existentes en el edificio al mismo tiempo que los ensayamos desde el punto de vista energético, de forma que las soluciones y decisiones tomadas respecto a la instalación incluyan una nueva variable, en este caso, su eficiencia energética. Al igual que en el caso de la envolvente la simulación de diferentes soluciones nos aportará diferentes datos de eficiencia energética y será necesario realizar un estudio cuantitativo del ahorro que cada una de las soluciones supone y la inversión a realizar para la optimización de dicha instalación. Al finalizar el proceso tendremos nuevamente un patrón de funcionamiento en cuanto a instalaciones y equipos que considerar en esta y en rehabilitaciones futuras.

Del mismo modo introduciremos en esta herramienta las energías renovables existentes (si así fuese) en el edificio, o las proyectadas de manera inicial si no contase con ellas y ensayaríamos las mejoras energéticas que supondrían las modificaciones que sobre estas instalaciones (generalmente placas solares o fotovoltaicas) producirían. Una vez analizadas todas las variables de manera individual y a medida que avanza el proceso de proyecto, de manera integral, realizaríamos una última simulación para obtener la certificación final del edificio, y poder compararlo con el definido inicialmente para el mismo.

## **9.- Conclusiones.**

Una vez analizado el proceso de auditoría energética y dentro de este el de rehabilitación energética mediante la utilización de tecnología BIM pasaremos a definir las conclusiones más interesantes que podemos obtener de esta investigación, aún en proceso:

- 9.1. Se establece un protocolo de auditoría energética específico para rehabilitación de edificación existente basada en el uso de tecnología BIM, que permite la introducción de conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética al parque edificatorio construido, de cara a reducir el impacto ambiental que éste genera y la dependencia energética del mismo al entrar en uso.
- 9.2. Mediante este protocolo se consigue integrar el proceso de desarrollo de proyecto de rehabilitación energética o de propuesta de mejoras en la edificación con el de simulación y cálculo de eficiencia energética de la misma, contribuyéndose así la consideración de la eficiencia energética como un agente interviniente en el propio proceso de proyecto.
- 9.3. La evaluación simultánea de las diferentes modificaciones que sufra el edificio durante el proceso de definición del proyecto de rehabilitación energética permite, por otro lado, evaluar el grado de mejora del comportamiento energético del edificio en función del uso de una u otra solución constructiva. Este estudio servirá para establecer un catálogo de soluciones con evaluación energética de cada una de ellas.
- 9.4. Además de eso, la evaluación simultánea permitirá separar el estudio energético de aspectos relativos a envolvente, instalaciones y maquinarias o renovables, permitiendo así la evaluación de los efectos que las modificaciones sobre cada uno de estos paquetes por separado tendría en el comportamiento final del edificio.
- 9.5. Con este estudio pormenorizado podrá evaluarse también el ahorro energético que cada una de esas acciones supondrá de manera individualizada para el total del edificio, y una vez cuantificado ese ahorro energético poder cuantificar

el económico, permitiéndose así la realización de un estudio económico de la rehabilitación a realizar, analizando el coste de cada una de las intervenciones a realizar con el ahorro que eso supondrá a medio plazo para el edificio.

- 9.6. Por último señalar, que este análisis pormenorizado e integrado en el propio proceso de proyecto resultará de especial interés para el caso del estudio de la envolvente, principal agente en lo que a reducción de demanda energética se refiere y sobre el que suelen tenerse menos datos comparativos. Por ello se establecerá un patrón de funcionamiento de la envolvente en lo que a ahorro energético se refiere.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
		CALEFACCIÓN	
		Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
		REFRIGERACIÓN	
		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]		Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]

## Bibliografía.

Coloma Picó. E. 2008, *Introducción a la tecnología BIM*. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I. Escuela Técnica Superior de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

De Pereda L. Martínez I. 2012, *Claves para la rehabilitación energética de edificios*. Encuentro-Edificación: Rehabilitación energética. Madrid.

Drozdowskyj, R. 2012, *Implantación de protocolo de auditoría energética para viviendas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad de Sevilla

Soto Francés, L. 2011, *La herramienta informática CERMA para rehabilitación. La certificación energética de edificios existentes. Ejemplo de aplicación*. Instituto Valenciano de la Edificación.