



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# La simulación energética como herramienta de predicción, normativa y de investigación en proyectos de arquitectura eficientes

Autor: María Teresa Cuerdo Vilches

Institución: Dpto .CA1-IUACC. Universidad de Sevilla  
E-mail: [teresacuerdo@hotmail.com](mailto:teresacuerdo@hotmail.com)



## RESUMEN:

El marco normativo del Código Técnico de la Edificación ha marcado un antes y un después en relación a las simulaciones informáticas como instrumentos metodológicos reconocidos para la justificación de sus documentos básicos.

Programas como LIDER o CALENER constituyen hoy por hoy herramientas de trabajo eficaces para múltiples profesionales que, de forma obligatoria, deben justificar el cumplimiento de uno de esos documentos básicos, el conocido como DB HE 1: Limitación de la demanda energética. Son además útiles para facilitar a los arquitectos la toma de decisiones con el fin de mejorar las calificaciones energéticas de los edificios que ellos proyectan.

Recientemente se ha aprobado el Documento de Aceptación de Programas Alternativos, por lo que tenemos la posibilidad de justificar, con otros softwares de simulación energética (...). Para ello, habrá que hacer uso de un amplio abanico de parámetros (...). Existen muchos programas, como Design Builder, Ecotect o Trnsys, que realizan también simulaciones energéticas de un modo exhaustivo, dando valores absolutos de demandas, de consumos y de emisiones de CO<sub>2</sub> (...). Pese a todo, no podemos dejar de un lado la condición de incertidumbre que tiene la aplicación de esta metodología (...).

Se plantea la Metodología del Trabajo de Investigación sobre la utilidad de las herramientas informáticas de simulación energética para su aplicación en Proyectos de Arquitectura Eficiente. Se ha elegido un software en particular, Design Builder, para ser calibrado y validado. Se realiza un estudio de los parámetros de la envolvente térmica de una volumetría simple, siguiendo el Protocolo de Validación reconocido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, para uso en concreto de vivienda. Primero, serán comparados los resultados entre las herramientas Homologadas (LIDER-CALENER) y la herramienta propuesta, Design Builder; en un segundo estadio, y tras pasar la primera fase de validación, se procederá a optimizar la envolvente térmica, estudiando la incidencia de cada parámetro de la envolvente sobre los valores de demandas, consumos y emisiones de CO<sub>2</sub> en el espacio de estudio.

El objetivo principal es conseguir mediante soluciones constructivas determinadas, los mejores resultados de envolventes térmicas para conseguir una Arquitectura Eficiente, Sostenible y respetuosa con el Medioambiente, garantizando asimismo condiciones de habitabilidad y confort para el hombre.



El marco normativo del Código Técnico de la Edificación ha supuesto un antes y un después en relación a las simulaciones informáticas como instrumentos metodológicos reconocidos para la justificación de sus documentos básicos.

Programas como LIDER o CALENER - este último en sus versiones VyP Y GT - constituyen hoy por hoy herramientas de trabajo eficaces para múltiples profesionales que, de forma obligatoria, deben justificar el cumplimiento de uno de esos documentos básicos, el conocido como DB HE 1: Limitación de la demanda energética. Son además útiles para facilitar a los arquitectos la toma de decisiones con el fin de mejorar las calificaciones energéticas de los edificios que ellos proyectan.

Dando un paso más, recientemente se ha aprobado el *Documento de Condiciones de Aceptación de Programas Informáticos Alternativos*, por lo que tenemos la posibilidad de justificar con otros *softwares* de simulación energética que sean así reconocidos el cumplimiento de las exigencias recogidas en la vigente normativa sobre Ahorro y Eficiencia Energéticas. Para ello, habrá que hacer uso de un amplio abanico de parámetros que definen al modelo geométrica, constructiva y ocupacional-funcionalmente.

En este sentido, existen otros muchos programas, como *Design Builder*, *Ecotect* o *Trnsys*, por citar algunos de los más conocidos, que bajo potentes motores de cálculo - *Energyplus* en el caso de *DesignBuilder* - realizan también simulaciones energéticas de un modo exhaustivo, dando valores absolutos de demandas, de consumos y de emisiones de CO<sub>2</sub>, (no como LIDER o CALENER, cuyo procedimiento es de validación, tras la comparación con un modelo de referencia).

Teniendo en cuenta el vacío actual que existe sobre las herramientas reconocidas de la opción general u operacional en cuanto a introducción de soluciones “bioclimáticas” o pasivas, y de determinadas fuentes de energía renovables, parece cuanto menos interesante poder utilizar herramientas en su mayoría capacitadas para modelar de forma más completa, exhaustiva, e incluso más fácil a nivel geométrico, aunque supongan un aprendizaje inicial más profundo y detenido que con las herramientas que nos ofrece la normativa vigente.

Sin embargo, aún no se han establecido las herramientas informáticas que a nivel nacional se puedan considerar Programas Alternativos, pero sí se puede, mediante el documento antes citado, justificar el cumplimiento de las entradas establecidas, validándolo mediante ejemplos que ya hay disponibles en la página ministerial.

Obviamente, no podemos dejar de un lado la condición de incertidumbre que tiene la aplicación de esta metodología predictiva, mediante el uso de esos programas de simulación del comportamiento energético de los edificios. Normalmente partimos de la construcción de modelo simplificado del edificio sujeto además a las limitaciones de entrada de datos que tenga la propia herramienta informática. También debemos tener presente las limitaciones operacionales de la misma, ya que, en múltiples casos, mientras más variables introducimos, más se ralentiza el modelizado y, por tanto, la simulación,



requiriendo a menudo potentes equipos y tiempos de simulación prolongados. Lo sustancial, en cualquier caso, es la validación y calibración de estos otros programas alternativos, con el fin de que puedan ser aceptados como documentos reconocidos del CTE.

Se plantea la Metodología del Trabajo de Investigación sobre la utilidad de las herramientas informáticas de simulación energética para su aplicación en Proyectos de Arquitectura Eficiente. Se ha elegido un software en particular, *DesignBuilder*, para ser calibrado y validado. Se realiza un estudio de los parámetros de la envolvente térmica simulando una volumetría simple – conocida como la Caja Gris- a la que se le asignan ciertas características estándar tanto geométricas, como constructivas y patrones de ocupación y funcionales. Estos estarán basados en los protocolos de validación establecidos por el Documento de Aceptación de Programas Alternativos, elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, junto con la Dirección General de Urbanismo y Política de Vivienda, e IDAE, para uso concreto de vivienda, así como en la base de datos de materiales de LIDER y en el Catálogo de Elementos Constructivos elaborados por CSIC-IDAE.

Una vez establecemos estos parámetros de partida, a la que denominamos estándar, comenzamos a variar ciertos parámetros para conocer la incidencia de los mismos en las demandas, consumos y en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En nuestro caso, ya que centramos el interés en las demandas para analizar la envolvente, comenzamos variando la Transmitancia térmica de los cerramientos de fachada, y particiones interiores.

Para calibrar- validar la herramienta, asemejamos los parámetros a los descritos en los documentos reconocidos LIDER y CALENER, ya que, de este modo estamos simplificando de entrada múltiples parámetros, por lo que disminuimos considerablemente la dispersión de los resultados. Por tanto, serán comparados los resultados entre las herramientas Homologadas (*LIDER-CALENER*) y la herramienta propuesta, *DesignBuilder*.

En un segundo estadio, y tras pasar la primera fase de validación, se procedería a optimizar la envolvente térmica, estudiando la incidencia de cada parámetro de la envolvente sobre los valores de demandas, consumos y emisiones de CO<sub>2</sub> en el espacio de estudio.

El reto: conseguir optimizar herramientas potentes de simulación energética que permitan a su vez evaluar energéticamente el gran parque de viviendas construidas previamente a la entrada en vigor del CTE, y cuya certificación está prevista en próximas fechas, y a su vez obtener, mediante soluciones constructivas determinadas, los mejores resultados de envolventes térmicas para conseguir una Arquitectura Eficiente, Sostenible y respetuosa con el Medioambiente, garantizando asimismo condiciones de habitabilidad y confort para el hombre.



Paralelamente, tras conseguir dicho objetivo, y en conjunción con otros trabajos que utilicen la misma herramienta, podremos plantear un hipotético reconocimiento del programa como documento alternativo del CTE.

### **OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Ofrecer la **simulación informática** del comportamiento energético de viviendas como una **herramienta de trabajo**, estableciendo para ello una **metodología** que permita de una forma **cómoda y fácil** obtener **resultados adecuados** a según qué parámetros se quieran evaluar y qué objetivos se pretenden alcanzar.
- Discernir entre la conveniencia del **Método de Valoración** y del **de Cálculo** según los datos de los que se parta y lo que queramos obtener.
- Conocer profundamente sus **parámetros de entrada, salida, limitaciones, valores por defecto**, etc.
- **Evaluar y comparar resultados**, plantear la **alternativa a la normativa actual** por la que se obliga al uso de determinadas herramientas de limitadas posibilidades y que amparan pocas respuestas de diseño, constructivas, y de instalaciones eficientes, estableciendo así en la medida de lo posible la idoneidad o validez de alguno de los programas no reconocidos como documento alternativo.

### **LA METODOLOGÍA:**

**Se elige una vivienda**, a la que denominaremos **UNIDAD TÉRMICA**, perteneciente a un edificio de VPO situado en Sevilla, en la manzana CROS- PIROTECNIA. Esta vivienda se simula en los diferentes programas informáticos previamente seleccionados, estableciendo unos parámetros de entrada asemejados en la medida de lo posible para evitar dispersiones en los resultados.

La metodología se basará en el **estudio comparativo de simulaciones** de esta unidad térmica, tanto en una etapa iterativa comparando resultados del mismo programa, como con diversas herramientas informáticas de modo que podamos **obtener un análisis exhaustivo del comportamiento térmico de la vivienda objeto de estudio**.

### **LA SIMULACIÓN**

El **Método de Validación**, en el cual se basan los programas informáticos LIDER-CALENER, obtiene sus resultados en términos relativos por la comparación con un edificio de referencia, generado con las mismas características geométricas del edificio objeto de estudio, con la salvedad de que las propiedades térmicas de los cerramientos y particiones cumplen las exigencias del DB HE1 del Código Técnico de la Edificación. Por el contrario, el **Método de Cálculo** establece un cálculo más complejo y exhaustivo del comportamiento energético del edificio, por lo que, a diferencia del primero, no obtenemos diagramas comparativos, sino números concretos de demandas, consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>. Siguiendo este enunciado, resultaría imposible comparar ambas



salidas de datos. Sin embargo, esto puede lograrse gracias a los ficheros RES (resultados) que genera el programa LIDER-CALENER, de donde podemos extraer datos de *DesignBuilder*- así como valores mensuales. Haciendo un pequeño tratamiento de datos, podemos establecer la comparativa entre ambos para verano e invierno.

### **MÉTODO DE VALORACIÓN (LIDER-CALENER)**

Evalúa los efectos sobre el consumo al modificar la envolvente y/o los sistemas.

Sólo es válido para determinadas tipologías de edificios

No obtiene valores absolutos de consumo, ni su disminución por cambio en los factores, sino valores relativos a una referencia.

A cambio...

...suministra valores que permiten ver si una modificación es mejor que otra y cuánto lo es

...ofrece fiabilidad global.

...es consolidable en un proceso operativo de gran facilidad de uso, incluso manual.

### **MÉTODO DE CÁLCULO (DESIGN BUILDER)**

Cuantifica energéticamente

Incluye todas las especificidades (uso y ocupación)

Evalúa cualquier tipo de modificación de las variables

Si la herramienta cuenta con potencia de cálculo y fiabilidad tanto intrínseca como extrínseca, da gran exactitud y un análisis pormenorizado de cualquier situación.

Para nuestro estudio, además, centraremos los casos a considerar en la simulación con dos enfoques: uno, en la **CALIBRACIÓN** propia del programa informático, y dos, en los **TEST DE SENSIBILIDAD**. Ambos están relacionados, pero a su vez claramente diferenciados, ya que para la calibración, se estudia en primera instancia la evolución de todos los datos de salida que el programa ofrece, para lo cual hemos ido modificando infiltraciones, ventilación y/o refrigeración, efectos de radiación solar a través de vidrios, etc. Para los Test de sensibilidad, modificamos la entrada de una sola variable en cada una de las simulaciones, dejando por defecto (mediante el establecimiento previo de un estándar) todos los parámetros restantes. Estos tests se harán sobre la transmitancia de fachada, transmitancia de forjados, transmitancia de elementos de partición interiores, transmitancia de vidrios, alteración del factor solar de estos, y variación de masas en los distintos cerramientos y particiones, puesto que incidiremos siempre en la Envolvente térmica, objeto de nuestro análisis.



## CALIBRACIÓN:

El ajuste de calibración se hace trabajando con tres días tipológicamente representativos del verano (no días extremos): los flujos energéticos quedan marcados con suficiente intensidad. Pruebas realizadas para días de septiembre muestran comportamientos muy difusos debido al estado de equilibrio térmico interior-exterior

Se efectúa un primer acercamiento, descartando el análisis de cargas térmicas al ser poco significativas (el modelo se encuentra en libre evolución en esta primera etapa)

## TEST DE SENSIBILIDAD:

Se realiza un análisis de sensibilidad acotado para determinar la influencia de los espesores del aislante sobre la inercia específica del cerramiento con objeto de descartar alteraciones atribuibles al proceso constructivo

Inercias térmicas y capacidad de acumulación térmica de los elementos constructivos:

Se establece una alternativa en el test de sensibilidad, mediante el análisis del comportamiento con radiación. Se pretende determinar la capacidad de acumulación en masas internas

## **CONDICIONES DE ACEPTACIÓN PARA UN PROGRAMA INFORMÁTICO ALTERNATIVO<sup>1</sup>**

Como ya se enuncia anteriormente, y basándonos en los documentos de obligado cumplimiento DB HE1 del CTE y RD 47/2007, así como en el Documento de Condiciones de Aceptación de Programas Informáticos, podemos resumir los requerimientos mínimos de un programa alternativo a LIDER-CALENER según los siguientes preceptos:

- Los alternativos al programa LIDER, deben cumplir, entre otros:
  - Demanda energética de calefacción y refrigeración tanto de un edificio objeto como del edificio de referencia, para lo cual se establecen los parámetros necesarios de definición geométrica, constructiva y operacional
  - Verificar si los cerramientos de la envolvente térmica del edificio objeto cumplen las transmitancias térmicas máximas
  - Carpinterías de los huecos, cumplen exigencias de permeabilidad
  - Si el edificio objeto es conforme con la reglamentación, tiene que ser capaz de producir una salida impresa con información, como documento administrativo
  - En lo relativo al cálculo, este debe ser de tipo horario, o en divisiones subhorarias, seguir el método flujo de calor por conducción en régimen transitorio, debe analizar el comportamiento térmico del edificio, simultanear solicitaciones exteriores e interiores, considerando a su vez la masa térmica, y debe permitir las simplificaciones entre espacios adyacentes de tipo adiabático (nula transmisión de flujo térmico).



- Deben integrar como mínimo: radiación solar en distintas orientaciones e inclinaciones de los cerramientos de la envolvente, valorando los elementos en sombras del propio edificio, como de otros obstáculos remotos
- Deben determinar las sombras arrojadas sobre los huecos debido a obstáculos de fachada (voladizos, retranqueos, salientes laterales, etc.)
- Debe facilitar las ganancias y pérdidas por conducción a través de cerramientos opacos y huecos acristalados, considerando la radiación absorbida.
- Transmisión de radiación solar a través de superficies transparentes (dependencia con ángulo de incidencia)
- Evaluar el efecto de persianas y cortinas exteriores, a través de coeficientes correctores del factor solar y de la transmitancia del hueco
- Cálculo de infiltraciones, a partir de la permeabilidad de las ventanas
- Ventilación (renovaciones/hora) para distintas zonas, y según patrones de variación horarios y estacionales
- Efecto de fuentes internas, diferenciando fracciones radiantes y convectivas, teniendo en cuenta variaciones horarias de su intensidad, según zona térmica.
- Deben facilitar la posibilidad de que los espacios se comporten a temperatura controlada o en oscilación libre (durante periodos en que la temperatura de estos se sitúe espontáneamente entre valores de consigna y durante periodos sin ocupación)
- Acoplamiento térmico entre zonas adyacentes del edificio a diferente nivel térmico
- Los alternativos al programa CALENER, deben cumplir, entre otros:
  - Determinación de la demanda de Calefacción y Refrigeración (LIDER)
  - Demanda de la Instalación de ACS
  - Demanda de Iluminación
  - Consumos energéticos de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación
  - Determinar el indicador de Eficiencia Energética global y los indicadores de eficiencia parciales (Certificación Energética de Edificios), de acuerdo con coeficientes de paso, y los procedimientos pertinentes
  - Asignar clases energéticas según indicador de Eficiencia Energética parciales
  - Producir salida impresa con información y formato del documento administrativo para certificado

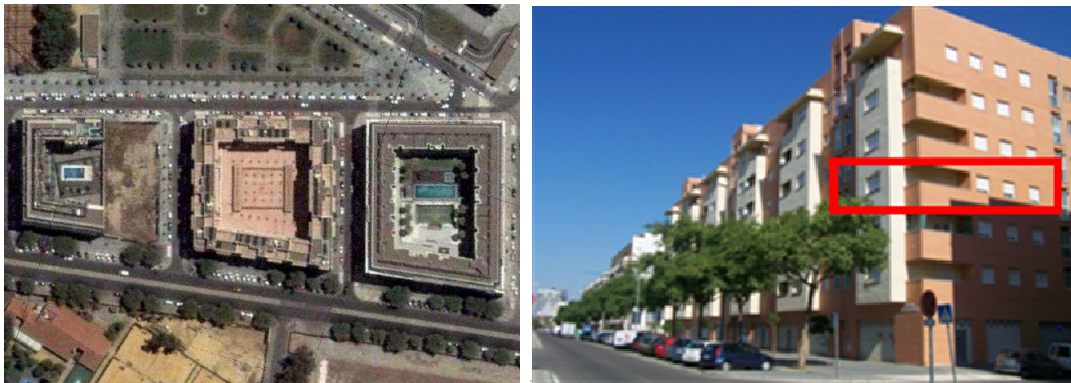


- Para el cálculo de demandas de refrigeración y calefacción, deben cumplir el nivel mínimo de modelización exigido por la opción general de la limitación de demanda energética del DB HE1.
- Para el cálculo del rendimiento medio horario de los sistemas, al menos: cálculo de consumo horario de equipos (luminarias, calderas, ventiladores, bombas...) teniendo en cuenta comportamiento a carga parcial y también la variación horaria de parámetros de operación de equipos, tales como  $T^a$  de distribución,  $T^a$  de aire exterior, etc.
- Cálculo de consumos horarios asociados a demandas sensibles y latentes

Para justificar la existencia y el consiguiente cumplimiento de todas estas variables, se han establecido unos ejemplos a realizar en el programa propuesto, de forma que se pueda evaluar la validez del mismo con respecto a los reconocidos en la opción general facilitados para el cumplimiento de la normativa vigente. Los archivos de edificios para los test de validación son los ejemplos de los BestTest de la Agencia Internacional de la Energía, necesarios para la validación del motor de cálculo y de la fidelidad de las condiciones estándar de programas alternativos a los de referencia.

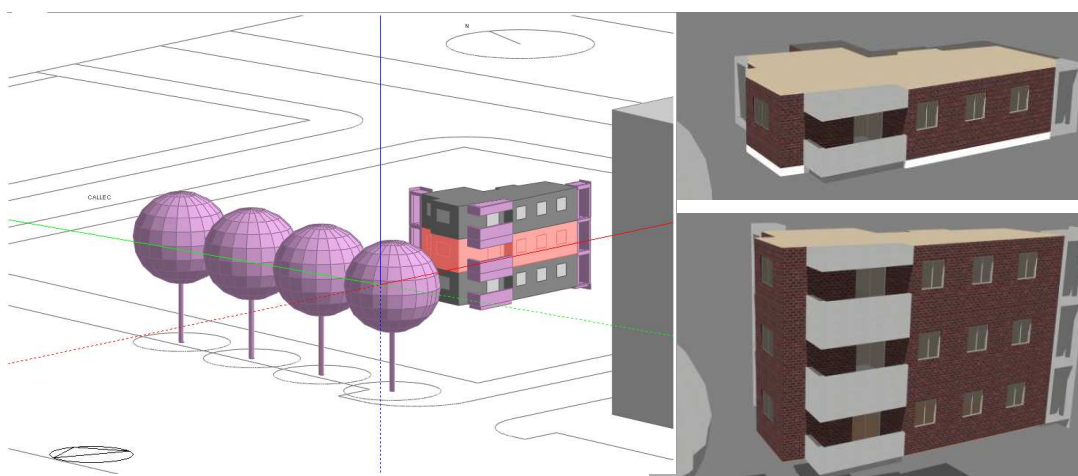
### **LA VIVIENDA DE ESTUDIO**

La vivienda pertenece a VPO (régimen de alquiler), cupo de minusválidos, y cuenta con programa de entrada, cocina, lavadero, salón-comedor, baño, dos dormitorios y terraza. Orientación sureste-suroeste. Cuenta con una superficie útil de 66,23 m<sup>2</sup>.



## **SIMPLIFICACIONES DEL MODELO: LA CAJA GRIS**

Nos planteamos como **objetivo principal** el **estudio**, a través de **simulación informática**, de la **envolvente térmica** de una **vivienda** perteneciente a un bloque plurifamiliar. Cuestiones como la **orientación**, el **soleamiento** de la vivienda, los **elementos de sombra** propios o remotos, la **relación con los elementos** espaciales **adyacentes** y la naturaleza de los mismos, entre otros, deben quedar perfectamente **definidos** en un estadio **previo a la simulación** del modelo. No obstante, más que para tener esos datos establecidos de modo inexorable, se hace para **registrar** de qué **parámetros** partimos, puesto que no podemos olvidar el **carácter iterativo** de este tipo de **metodologías**.



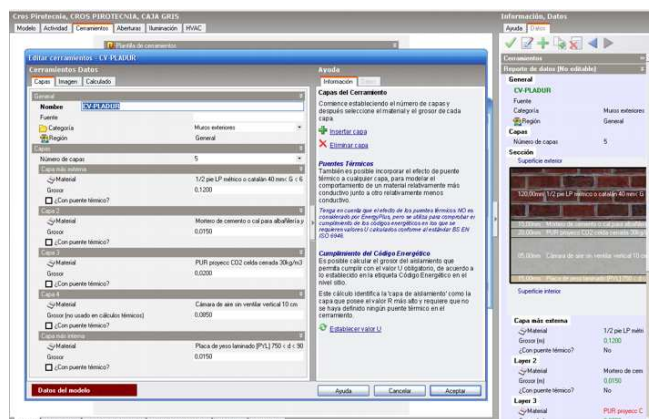
Una de las **primeras consideraciones geométricas** del modelo simulado está relacionada con los **espacios adyacentes** que vamos a considerar. Partimos de que el modelo se basa en una vivienda que pertenece a un bloque plurifamiliar de tipo manzana cerrada con patio interior, y el bloque consta de planta baja (destinada a locales comerciales), seis plantas, y ático. Dibujar todo el volumen de la manzana, o tan siquiera el bloque en concreto donde se sitúa la unidad térmica de estudio, carece de interés si nuestro objetivo se centra en el estudio de una sola vivienda. Por tanto, se simplifica la geometría, reduciendo así el tiempo de simulación si sólo modelizamos la vivienda y los elementos más próximos cuya presencia incide de forma directa sobre ella. Determinamos qué espacios vamos a considerar en **libre transferencia térmica** con la vivienda, cuáles consideraremos **adiabáticos**, de haberlos, y cuáles los desechamos por no incidir, al menos en primer orden, sobre la transferencia térmica con respecto a la vivienda de estudio.

## CONDICIONES DE SIMULACIÓN (I). CONDICIONES GEOMÉTRICAS, CONSTRUCTIVAS, FUNCIONALES.

La **envolvente térmica** de un edificio constituye el único parámetro sobre el cual se puede incidir, para optimizar el ahorro de energía y la eficiencia energética. No sería objetivo ni cuantificable evaluar la concienciación del usuario del edificio, ni su patrón de conducta, como tampoco podemos saber datos de sus sensaciones térmicas (si es más friolero o más caluroso). Tampoco podemos prever el tiempo que pasarán los usuarios en la vivienda, cuándo tomarán vacaciones, o a qué se dedican mientras están en casa, por lo que no podemos estimar de un modo fiable ni los ocupantes, ni los equipos ni sus patrones de conducta. Es la "piel" del edificio lo que resulta objetivamente el único elemento sobre el que podemos hacer modificaciones, asegurándonos que, tras una correcta ejecución en obra, será como pensamos en un principio.

ELIMINER OFFICES	Fluente de calor	Material	Espesor	Resistencia térmica	Resistencia térmica	Transmisión térmica	Coeficiente de aislamiento	Resistencia térmica	Resistencia térmica	Densidad específica
			[m]	[m²K/W]	[m²K/W]	[W/m²K]	[W/m²K]	[m²K/W]	[m²K/W]	[kg/m³]
Cerramiento Exterior - Fachada	HE-1	material: capacidad del exterior	28,0	1,226	-	0,810	0,180	11,00	2100	181,00
	UBER	UR Plin LP40 <E=0	1,0	0,170	0,00					
	UBER	material: capacidad >=2000	1,6	0,096	1,00					
	UBER	PUR COE con lana mineral 0,050	3,0	0,085	0,00					
	UBER	material: capacidad del exterior	8,6	0,180	0,00					
Transmisión Fachada	HE-1	material: capacidad del exterior	18,0	0,860	-	1,200	0,402	11,00	2100	110,50
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
	UBER	Módulo constructivo convencional	14,0	0,800	0,44					
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
	HE-1	material: capacidad del exterior	-	0,100	-					
Transmisión Fachada	HE-1	material: capacidad del exterior	14,0	0,500	-	1,791	0,489	11,00	2100	1104,29
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
	UBER	Módulo constructivo convencional	10,0	0,800	0,44					
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
	HE-1	material: capacidad del exterior	-	0,100	-					
Fachada Superior	HE-1	material: capacidad del exterior	35,0	0,400	-	2,490	1,870	2000	2100	800,00
	UBER	material: capacidad >=2000	1,6	0,096	1,00					
	UBER	material: capacidad >=2000	1,6	0,096	1,00					
	UBER	material: capacidad >=2000	30,0	0,180	2,00					
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
Fachada Inferior	HE-1	material: capacidad del exterior	35,0	0,400	-	1,820	1,870	2000	2100	800,00
	UBER	material: capacidad >=2000	1,6	0,096	1,00					
	UBER	material: capacidad >=2000	1,6	0,096	1,00					
	UBER	material: capacidad >=2000	30,0	0,180	2,00					
	UBER	material: capacidad <=1500	2,0	0,096	0,07					
Fachada Superior - Vidrio	UBER	material: capacidad <=1500	12,2	0,500	0,04	1,070	0,280	0,00	0,00	800,00
	UBER	material: capacidad <=1500	0,6	0,170	0,00	5,700	0,034	2000	15,00	2500,00
Planta de Vivienda	UBER	material: capacidad <=1500	6,70	0,085	0,7	5,70	0,7	0,000	0,000	0,000
	UBER	material: capacidad <=1500	6,70	0,085	0,7	5,70	0,7	0,000	0,000	0,000
	UBER	material: capacidad <=1500	6,70	0,085	0,7	5,70	0,7	0,000	0,000	0,000
	UBER	material: capacidad <=1500	6,70	0,085	0,7	5,70	0,7	0,000	0,000	0,000
	UBER	material: capacidad <=1500	6,70	0,085	0,7	5,70	0,7	0,000	0,000	0,000

Basándose en los datos del proyecto se ha comenzado la calibración mediante la variación de tasa de infiltración de aire exterior manteniendo el resto de parámetros fijos (suponiendo que no se han producido alteraciones en el proceso constructivo)



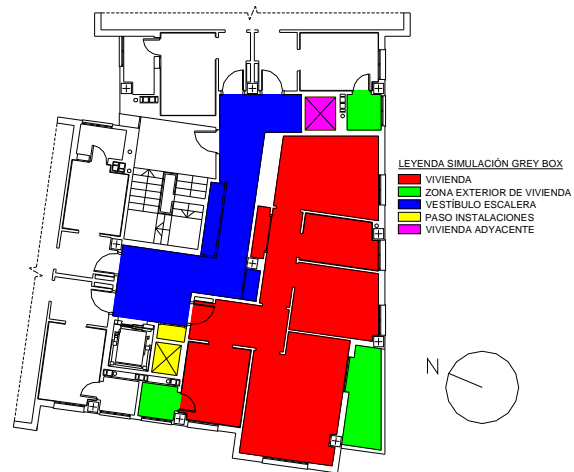
## LA ENVOLVENTE:

<b>Componentes de la envolvente:</b>	<p>Materiales (opacos // transparentes)</p> <p>Cerramientos y particiones</p> <p>Techos</p> <p>Suelos</p> <p>Sub-superficies</p> <p>Masa térmica interna</p> <p>Adyacencia</p> <p>Convección superficial</p> <p>Estanqueidad al aire (renovac./hora)</p>
<b>Aberturas:</b>	<p>Acristalamientos</p> <p>Dimensiones de huecos</p> <p>Marcos y divisores</p> <p>Sombreado</p> <p>Lucernarios y claraboya</p> <p>Puertas</p> <p>Rejillas</p>
<b>Elementos de sombra:</b>	<p>Obstáculos remotos</p> <p>Voladizos</p> <p>Elementos de sombra local fijos</p> <p>Elementos de sombra local móviles (estacionales)</p>
<b>Puntos débiles:</b>	<p>Puentes térmicos</p>

De manera análoga, examinamos qué **elementos** se consideran de nula incidencia térmica pero **que arrojan sombras** o alteran de algún modo la incidencia de radiación solar a la vivienda. En el caso de la **terraza del salón**, se reproducen los elementos de sombra propios, y, por si también pudieran influir según la posición del sol, los elementos de sombra remotos, como el edificio de enfrente o los árboles frondosos que se encuentran en el acerado bajo la vivienda. Asimismo, podemos citar el **lavadero**, cuya carpintería está parcialmente abierta al exterior (sin vidrio), lo cual hace que se pueda asemejar a un espacio abierto, por lo que sus particiones y cerramientos sólo intervienen en el aspecto relacionado con la radiación y las sombras. Este hecho, tendrá una **consecuencia** un tanto inesperada en el proceso de la definición de los espacios adyacentes, y es que si observamos con detenimiento el detalle de la planta, y

consideramos los dos lavaderos contiguos a la vivienda como espacios exteriores, observamos que aparte de los huecos de instalaciones, el único espacio habitable que linda con la vivienda en horizontal es el vestíbulo de la escalera.

No existe por tanto **ningún contacto** en la misma planta **vivienda-vivienda**. Por esta razón convenimos transformar uno de los huecos de instalaciones en un supuesto espacio vinculado a la vivienda adyacente, y así poder tener todas las relaciones posibles de la vivienda reflejadas en la simulación (vivienda- exterior, vivienda- habitable, vivienda- no habitable, vivienda- vivienda).



Llegamos a nuestro modelo, fijando los espacios adyacentes y elementos de sombra:



Para reducir el número de entradas en el programa, se elige **un cerramiento exterior**, que compone un gran porcentaje de la totalidad de la fachada; **un solo forjado**, que es el forjado tipo entre viviendas, y **dos tipos de particiones interiores** o medianeras: la definida entre viviendas, y la que separa la vivienda con zonas comunes, como el vestíbulo de la escalera.



Establecemos la relación de la vivienda con el exterior, y además, en su interior, establecemos la relación entre espacios: parámetros como la radiación solar, la ventilación, o la comunicación entre espacios pueden alterar sensiblemente los resultados de los cálculos, especialmente las temperaturas interiores, y las ganancias por radiación directa a través de ventanas exteriores, las ganancias en forjados, o las vinculadas a la transmitancia de los vidrios. Por tanto, simulamos casos con **persianas cerradas, persianas elevadas al 50%, y persianas totalmente elevadas**. Para evitar la excesiva influencia de un espacio sobre otro, así como la influencia externa, las **puertas interiores y las ventanas exteriores permanecen cerradas** en el modelo, y sólo existirá una variabilidad en la infiltración que controlaremos para ver su repercusión sobre los parámetros de estudio (temperaturas interiores, humedad relativa, ganancias-pérdidas).

Para evaluar la **repercusión de la renovación del aire** en los espacios y de la **existencia de equipos** que alteren las condiciones entálpicas de los mismos, para el caso de verano, establecemos **varias etapas de simulación**, que comprenden desde el estado de **libre evolución**, donde la vivienda responde libremente a las acciones térmicas que sobre ella inciden; la **ventilación nocturna**, asemejando a un comportamiento habitual como es abrir las ventanas por la noche, y por último, la **ventilación nocturna actuando conjuntamente a un sistema de refrigeración** para las habitaciones más significativas: el salón, y el dormitorio principal. **Simultáneamente** a estos casos, interponemos determinados valores de **infiltraciones**, para evaluar su repercusión, ya que se vienen observando temperaturas interiores sensiblemente altas (2°C) a lo que sería esperable. La escala de valores tomados para las infiltraciones son 0, 0,5, 1, 2, y 4 renovaciones/hora.

A fin de reducir en la medida de lo posible el número de variables introducidas en la simulación, y para centrarnos en el comportamiento térmico de la envolvente de la vivienda, las **cargas internas no se considerarán** en términos generales (no hay sistema de ACS, no hay iluminación, ni ocupación, ni equipos o sistemas que generen calor de ningún tipo), salvo en el caso puntual de las etapas de simulación que lleven refrigeración en salón y dormitorio principal.

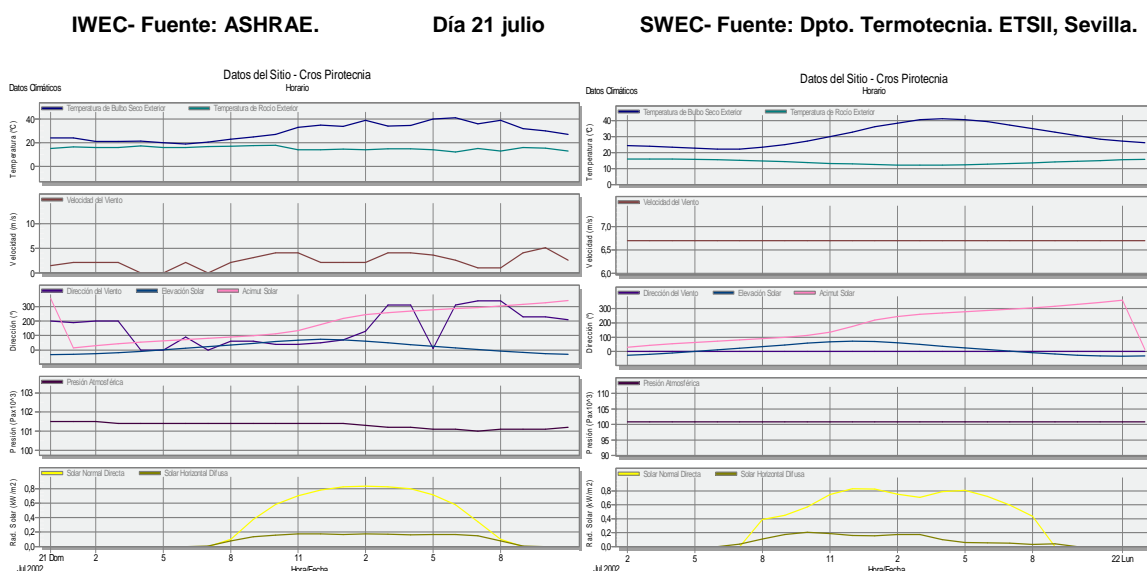
Los **datos climatológicos** de partida constituyen otra fuente que conviene contrastar. Saber si los datos son extraídos de estadísticas de varios años de medidas, o si por el contrario son datos obtenidos directamente de las medidas de un determinado mes, en un determinado año. Por otro lado, la conveniencia del número de parámetros, las

simplificaciones de alguno de ellos, o el grado de fiabilidad de los datos que forman parte de esos ficheros climáticos serán cuestiones a tener en cuenta para elegir uno u otro.

Elegir el tipo de fichero climatológico local según la fuente, contrastando con otros ficheros y con datos de medidas in situ para un mismo día.

(la aplicación de uno u otro se determinará atendiendo a cuestiones como la elección del día tipo estacional u otro periodo de cálculo, el grado de fiabilidad o aproximación con el año de estudio, etc.).

**SWEC (\*.epw)-IWEC (\*.epw) –MET (\*.met)+ otros que podamos crear (\*.epw)**



Para nuestro estudio, establecemos en un principio dos días significativos, correspondientes a los días característicos estacionales del año. Tras la evaluación de los días promedio de las estaciones extremas en el archivo climático SWEC (correspondiente al año 2002), se establecen los **días tipo** para las estaciones de verano e invierno: 6 de enero, y 21 de julio. Además de estos dos días, se establece un tercero que represente la media estación, siendo este el 17 de septiembre.

## CONDICIONES DE SIMULACIÓN (II). PROTOCOLO DE DOCUMENTOS RECONOCIDOS Y ALTERNATIVOS.

Para la determinación de la Caja Gris Estándar, de la cual partirán las modificaciones para realizar el Test de Sensibilidad, se muestra el establecimiento de los parámetros ocupacionales de partida según **CTE, Catálogo de Elementos Constructivos** del CSIC, y **Documento de las Condiciones de Aceptación de Programas Informáticos Alternativos**.

Viviendas.	Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tª de Consigna alta °C	verano	27	27	27	27	27	27	27	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	27
Tª de Consigna baja °C	invierno	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Calor sensible por ocupación (W/m2)	laboral	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
	sábado	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
	festivo	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Calor latente por ocupación (W/m2)	laboral	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
	sábado	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
	festivo	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Cargas iluminación (W/m2)	anual	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.2	4.4	4.4	4.4	2.2
	Cargas por electrodomésticos (W/m2)	anual	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.2	4.4	4.4	4.4	2.2
Ventilación (ren/hora) (*)-renovaciones según DB-HS3-1	verano	4	4	4	4	4	4	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	invierno	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Demanda ACS (% del máximo)	anual	12	5	4	2	2	6	27	100	70	75	62	56	48	48	41	33	39	38	52	70	57	63	48	52

### NOTAS Y ACLARACIONES SOBRE CONDICIONES OPERACIONALES

El uso de estos horarios requiere la definición de los términos verano e invierno, noche y día:

**Verano e invierno:** Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno.

**Noche y día:** Se considerará noche desde la hora 1 hasta la hora 8, ambas inclusive.

Los horarios que se definen se diferencian en función de que el día sea laborable, sábado o festivo.

En ese sentido, se supondrá que el día 1 de enero es lunes.

NO se considerarán las fiestas nacionales, regionales ni locales.

En los datos climáticos se considera que el año no es bisiesto, por lo que el mes de febrero tiene 28 días.

Los horarios de fuentes internas aparecen referenciados desde la hora 1 a la 24.

El valor fijado para la hora 1 representa una carga térmica, potencia aplicada o una temperatura de consigna o un caudal de ventilación, supuestos constantes en ese valor durante el tiempo que transcurre entre las 0 y la 1, y así sucesivamente.

Los horarios se muestran en hora oficial. En su caso habrá que hacer correcciones a hora solar.

### 6.3.3. Espacios no habitables

En el caso de espacios no habitables, como por ejemplo los desvanes y los vacíos técnicos sanitarios, huecos de ascensores, etc., se solicitará el nivel de infiltración, tomado de entre los valores establecidos en la siguiente tabla:

	Nivel de estanqueidad	h <sup>1</sup>
1	Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
2	Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0.5
3	Todos los componentes bien sellados, con pequeñas aberturas de ventilación	1
4	Foco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
5	Foco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

## PRIMEROS RESULTADOS: RETROALIMENTACIONES Y CONCLUSIONES INICIALES

**Limitaciones del programa a diversos niveles. La simplificación del modelo: LA CAJA GRIS. Estas limitaciones se registran a diferentes niveles:**

- *En la definición de geometría,*
- *En la definición constructiva,*
- *En la definición operacional del edificio*
- *En los algoritmos de cálculo internos*
- *En las salidas- resultados*

### Incertidumbres.

**Revisiones de los perfiles climáticos:** dados los valores considerados en el fichero climático para Sevilla, dado por el Dpto. de Termotecnia de la ETSII de Sevilla y posteriormente adaptado para el motor de cálculo DOE-2. Parecen más





coherentes con análisis efectuados in situ en viviendas y en estaciones meteorológicas locales los datos facilitados por el archivo SWEC.

**Infiltraciones:** En el modelo virtual se introduce la infiltración mediante un valor constante para todo el día, por lo que nos serviríamos a su vez de la ventilación natural, a la cual sí podemos imponerle un horario, pudiendo de esta forma jugar con una variación diaria de las infiltraciones, asemejando el comportamiento del modelo a las medidas registradas en una vivienda real de protección oficial. La ejecución en obra juega un papel importante en este sentido.

**Simplificaciones del modelo:** una vez son evaluados los resultados, observamos qué parámetros se dispersan de la realidad o no son coherentes con la teoría. En ese caso, procedemos a analizar cómo modificar las entradas para evaluar las diferencias entre resultados.

### **Casuística. Primera aproximación a la calibración del modelo y del programa.**

CAJA GRIS: se ha definido como un modelo de simulación de los locales del edificio donde se procura la reducción del número de incertidumbres para la generación del modelo térmico. Se define en estos momentos como la envolvente proyectada, con sus cualidades térmicas y geométricas, y las sombras exteriores. Se han eliminado las acciones energéticas procedentes del uso (ocupantes y cargas asociadas) debido a su alto grado de variabilidad.

De esta manera se reduce el número de variables no controladas y es posible realizar la calibración sobre los elementos constructivos, a fin de disponer de un modelo lo más ajustado posible.

Se ha definido

- Envolvente proyectada, con sus cualidades térmicas y geométricas
- Sombras exteriores.
- Se han eliminado las acciones energéticas procedentes del uso (ocupantes y cargas asociadas) debido a su alto grado de variabilidad.
- Módulo en libre evolución no acondicionado (modelo básico)
- Grado de infiltración variable (sin ventilación voluntaria)
- Actuación de las protecciones solares fijas, en el modelo de base con persianas cerradas.

Otras variantes del modelo de la Caja Gris han sido:

-Modelo sin infiltraciones

- Modelo sin radiación solar

-Modelo de control climatizado (análisis de los comportamientos en modo de ganancia)

Como ejemplo, se muestra una primera tabla de casos a simular:

CASUÍSTICA VIVIENDA CROS PIROTECNIA									
Nº CASO	FECHA	FORJADOS ADIABÁTICOS		CARGA INTERNA*		VENTILAC. NOCTURNA**		REFRIG./CALEFACC.***	
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
1	6 ENERO		X		X		X		X
2	21 JULIO		X		X		X		X
3	17 SEPT		X		X		X		X
4	6 ENERO		X		X	X			X
5	21 JULIO		X		X	X			X
6	17 SEPT		X		X	X			X
7	6 ENERO		X		X	X		X	
8	21 JULIO		X		X	X		X	
9	17 SEPT		X		X	X		X	
10	6 ENERO	X			X		X		X
11	21 JULIO	X			X		X		X
12	17 SEPT	X			X		X		X
13	6 ENERO	X			X	X			X
14	21 JULIO	X			X	X			X
15	17 SEPT	X			X	X			X
16	6 ENERO	X			X	X		X	
17	21 JULIO	X			X	X		X	
18	17 SEPT	X			X	X		X	
19	6 ENERO		X	X			X		X
20	21 JULIO		X	X			X		X
21	17 SEPT		X	X			X		X
22	6 ENERO		X	X		X			X
23	21 JULIO		X	X		X			X
24	17 SEPT		X	X		X			X
25	6 ENERO		X	X		X		X	
26	21 JULIO		X	X		X		X	
27	17 SEPT		X	X		X		X	
28	6 ENERO	X		X			X		X
28	21 JULIO	X		X			X		X
30	17 SEPT	X		X			X		X
31	6 ENERO	X		X		X			X
32	21 JULIO	X		X		X			X
33	17 SEPT	X		X		X			X
34	6 ENERO	X		X		X		X	
35	21 JULIO	X		X		X		X	
36	17 SEPT	X		X		X		X	

### CONSIDERACIONES:

-Para los días estivales de estudio (21 julio, 17 sept.), activamos el horario de verano sobre el GMT+1.

**\*carga interna:** para los supuestos en los que se considere carga interna, interpretaremos sólo ocupación, con una densidad de 0,05pers/m<sup>2</sup>.

**\*\*ventilación nocturna:** se tendrá en cuenta de dos formas; primero se aplicará una infiltración constante de 1 ren/h a lo largo del día, y después, en un segundo estudio, se aplicará conjuntamente con una ventilación natural nocturna de 3 ren/h, de 22h a 8h. Este caso de vent. noct.+infiltr. sólo se llevará a cabo en días de estudio estivales.

**\*\*\*refrigeración/calefacción:** pondremos en funcionamiento sólo la coherente a la época estacional del día de estudio, entre las 9 y 24 h, en dormitorios y salón, como sigue:

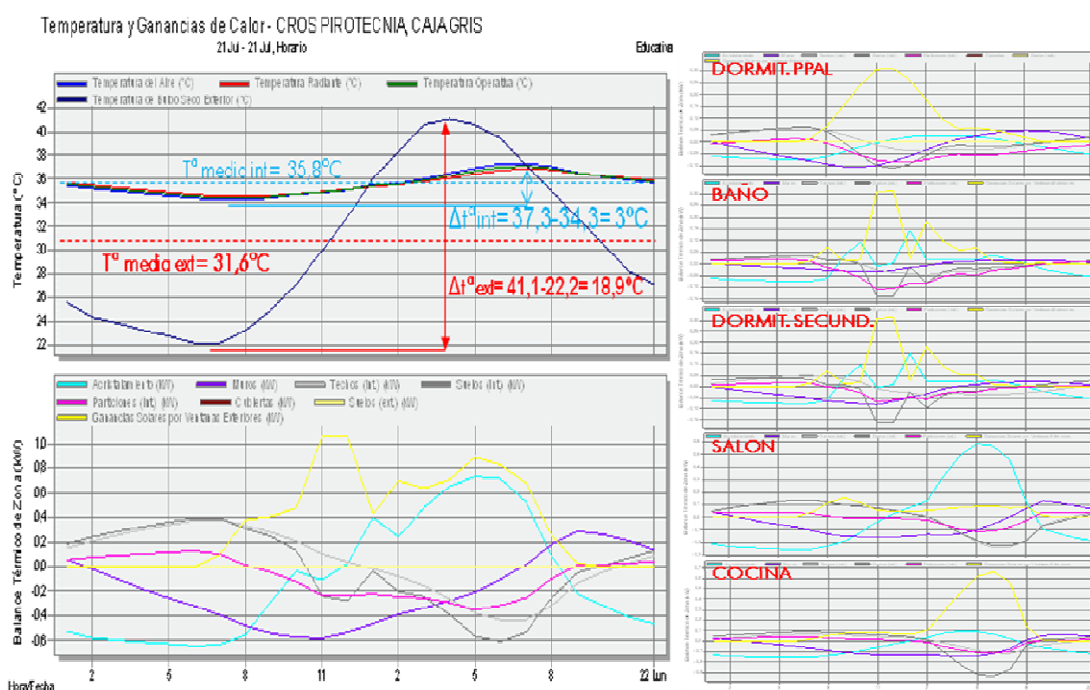
**Refrigeración:** Tª consigna: 25°C  
21°C

**Calefacción:** Tª consigna:

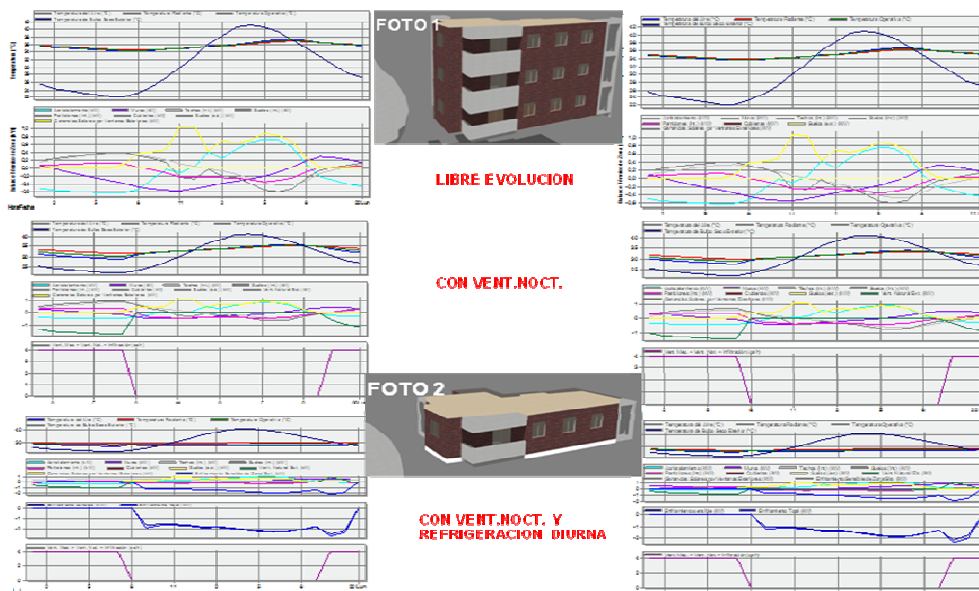
Potencia: 125 W/m<sup>2</sup>

Potencia: 85 W/m<sup>2</sup>

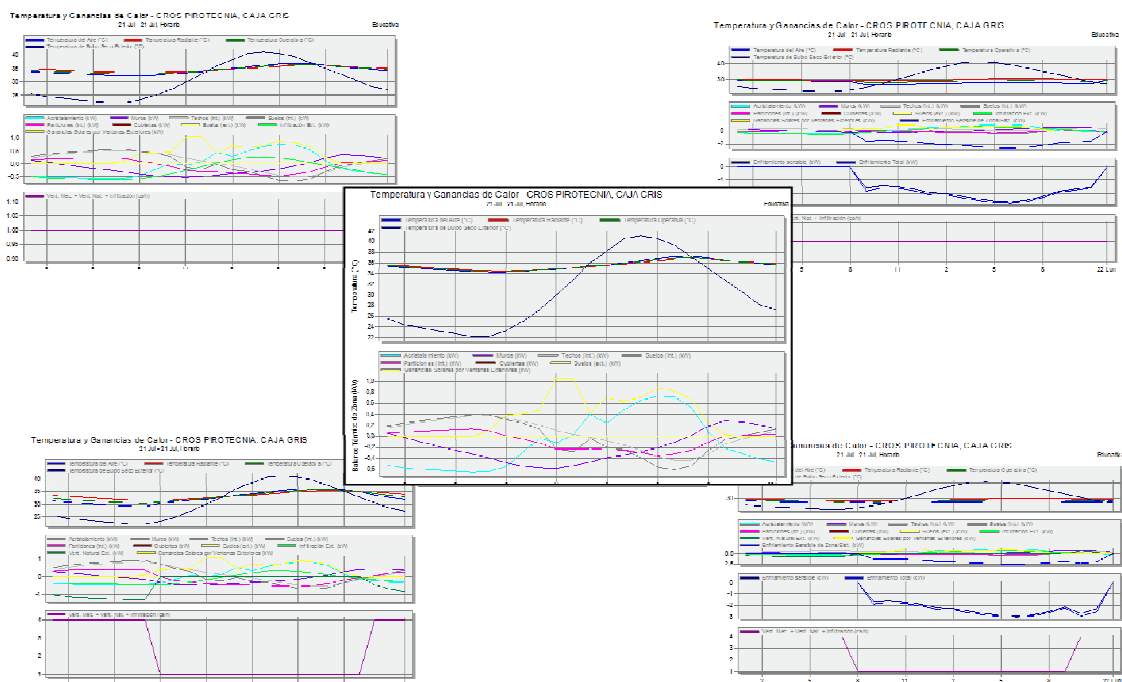
En la siguiente gráfica se muestran los primeros resultados de la vivienda en libre evolución. Destacar a la derecha las ganancias (amarillo las solares directas por ventanas) por local:



En las gráficas siguientes, destacar el comportamiento de la vivienda modelizada en dos supuestos, incidiendo sobre la inercia-masa térmicas de los forjados: a la izquierda, considerando las viviendas superior e inferior (foto1), y por tanto permitiendo las transferencias a través de los forjados, y a la derecha, suponiendo nulas estas transferencias, indicándole al programa que estos son adiabáticos (foto 2):



**Simulaciones de la vivienda para el 21 de julio:**



Sobre estas líneas, en el centro, resultados de la vivienda en libre evolución. A la izquierda, añadiendo una infiltración constante de 1r/h (arriba) y la misma con una



ventilación nocturna de 3 r/h (abajo). A la derecha, con los mismos parámetros de infiltración y/o ventilación, se le añade un sistema de refrigeración en determinadas estancias, cuyo uso se estima desde las 9 horas, a las 24h. El análisis de las gráficas facilitadas arriba, muestran entre otras cuestiones la elevada temperatura que alcanza la vivienda, lo cual se ha contrastado en posteriores simulaciones que baja considerablemente si admitimos mayores infiltraciones, en torno a las 2-3 r/h, lo cual parece razonable. También parece significativo evaluar la reacción del modelo ante la anulación de la entrada de radiación solar por ventanas.

Los primeros trabajos en la simulación indican la complejidad y dificultad para que los modelos informáticos sean capaces de la reproducción fidedigna de los comportamientos reales de los edificios. Se entiende como paso fundamental la calibración más fiel posible del modelo, de forma que se posible la predicción de comportamiento de modelos futuros o variaciones sobre los existentes. En este sentido, aún nos encontramos en este punto, por lo que contrastarlo con los datos de los programas LIDER-CALENER parece pasar a segundo plano por cuestiones como el hecho de que los resultados de estos son en pasos mensuales y anuales, por lo cual la contrastación de datos se hace bastante parcial. Por otro lado, es tan compleja la herramienta que nos ocupa, que su conocimiento profundo y su afinación tanto en entrada de datos, como en interpretación de salidas, en redefinición de posibles incertidumbres, o en subsanación de limitaciones varias en la simulación, exige cuanto menos una dedicación mayor a la esperada.

Junto con la dificultad intrínseca de definir un modelo energético construido, hay que añadir en este caso la aparición de incertidumbres procedentes del proceso de construcción (tales como diferencias en los espesores de aislamiento, puentes térmicos accidentales, etc), las cuales pueden provocan desviaciones en el comportamiento simulado respecto a los reales. Poder contrastar en un momento dado con la realidad los datos simulados ayuda positivamente a esta calibración de la herramienta. Por otra parte, el futuro de nuestros parques de viviendas se verá influenciado directamente por acciones de este tipo, que contribuyan a evaluar su estado y reactivar así su reutilización, evitando consumir más suelo. La Certificación Energética de edificios construidos es una realidad inminente.

Como último apunte, indicar que esta investigación está totalmente abierta en la actualidad, y crece en paralelo a un Proyecto de Investigación de la Universidad de Sevilla, El Proyecto ***Eficacia***, que realiza en conjunción con dos empresas del sector de construcción residencial dedicadas a vivienda protegida, Emvisesa y Sodinur. Muestro mi agradecimiento por la colaboración prestada, a los miembros del grupo de investigación en mi tarea de abordar la simulación energética como herramienta de predicción, normativa y de investigación en proyectos de arquitectura eficientes. Gracias.



## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

ASHRAE Technical Committees 1.10, Energy Resources, and 2.8, Building Environmental Impacts and Sustainability: *ASHRAE Green Guide*. ASHRAE. U.S.A. 2006.

A.A.V.V.: *Fundamentos técnicos de la Calificación Energética en Viviendas*. Dirección General de la Vivienda, Arquitectura y Urbanismo / IDAE. Madrid, Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones. 1999.

R.D. 47/2007 *Procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia energética de edificios de nueva construcción*. Ministerio de la Presidencia. BOE núm.27, págs 4499-4507.

*Código Técnico de la Edificación Dirección General de Arquitectura y Política de vivienda del Ministerio de Vivienda, con colaboración del Instituto de ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC. 2006.*

*Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. Redacción: Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar, mayo 08.

<sup>1</sup>*Documento de Condiciones de Aceptación de Programas Informáticos Alternativos*. Dirección General de Urbanismo y Política de Vivienda, e Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Al-Homoud MS. *Computer-aided building energy analysis techniques*. Building and Environment 2000/5/1;36(4):421-433.

Augenbroe G, Hensen J. *Simulation for better building design*. Building and Environment 2004/8;39(8):875-877.

Augenbroe G, Wisse JA, Hendriks NA, Schellen HL, Van Der Spoel, W. *ICT tools for design and engineering of buildings: a design analysis view*. International building physics conference tools for design and engineering of buildings. Eindhoven (Holanda) 2000.

Bronson DJ. *A procedure for calibrating the DOE-2 simulation program to non-weather-dependent measured loads*. ASHRAE Transactions 1992;98(1):636-652.

Clarke JA. *Energy simulation in building design*. 2nd. ed. Oxford etc.: Butterworth Heinemann; 2001.

Corson GC. *Input-output sensitivity of building energy simulations*. ASHRAE Transactions 1992;92(1):618-626.

Depecker P, Menezo C, Virgone J, Lepers S. *Design of buildings shape and energetic consumption*. Building and Environment 2001/6;36(5):627-635.



Feng Y. *Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer/cold winter zones*. Energy and Buildings 2004/12;36(12):1309-1312.

García-Casals X. *Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences*. Energy and Buildings 2006/5;38(5):381-392.

García-Casals X. *La simulación dinámica de edificios y la eficiencia energética en el sector de la edificación*. XV Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica 10–13 Diciembre 2002.

Ghrab-Morcós N. *CHEOPS: a simplified tool for thermal assessment of Mediterranean residential buildings in hot and cold seasons*. Energy and Buildings 2005/6;37(6):651-662.

Haberl JS, Komor S. *Improving energy audits: How annual and monthly consumption data can help (part 1)*. ASHRAE Journal 1990;8:26-33.

Hiller MDE, Beckman WA, Mitchell JW. *TRNSHD — a program for shading and insolation calculations*. Building and Environment 2000/10/1;35(7):633-644.

Hong T, Chou SK, Bong TY. *Building simulation: an overview of developments and information sources*. Building and Environment 2000/5/1;35(4):347-361.

Howell RH, Sauer HJ, Coad WJ. *Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers; 2005.

Isaksson C, Karlsson F. *Indoor climate in low-energy houses—an interdisciplinary investigation*. Building and Environment 2006/12;41(12):1678-1690.

Jiménez MJ, Heras MR. *Application of multi-output ARX models for estimation of the U and g values of building components in outdoor testing*. Solar Energy 2005/9;79(3):302-310.

Kaplan E. *Energy edge simulation tuning methodologies*. Portland Energy Conservation Inc. 1992.

Koran WE, Kaplan MB, Steele T. *Two DOE-2.1C model calibration methods*. ASHRAE Special Publications: Thermal Performance of the Exterior Envelope of Buildings 1993:3-10.

Macías M, Mateo A, Schuler M, Mitre EM. *Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate*. Energy and Buildings 2006/9;38(9):1104-1110.

Martini I, Discoli C, Rosenfeld E. *Methodology developed for the energy-productive diagnosis and evaluation in health buildings*. Energy and Buildings 2007/6;39(6):727-735.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y Ministerio de Economía, España. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012: Sector Edificación*.



Pedrini A. *Desenvolvimento de Metodologia para Calibração do Programa DOE-2.1E*. 1997:186.

Pedrini A, Westphal FS, Lamberts R. *A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates*. *Building and Environment* 2002/0;37(8-9):903-912.

Smeds J, Wall M. *Enhanced energy conservation in houses through high performance design*. *Energy and Buildings* 2007/3;39(3):273-278.

Thormark C. *A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*. *Building and Environment* 2002/4;37(4):429-435

Tzikopoulos AF, Karatza MC, Paravantis JA. *Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings*. *Energy and Buildings* 2005/5;37(5):529-544.

Venkatarama Reddy BV, Jagadish KS. *Embodied energy of common and alternative building materials and technologies*. *Energy and Buildings* 2003/2;35(2):129-137.

Yılmaz Z. *Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate*. *Energy and Buildings* 2007/3;39(3):306-316.

Zhang Z, Wu X, Yang X, Zhu Y. *BEPAS—a life cycle building environmental performance assessment model*. *Building and Environment* 2006/5;41(5):669-675.

### **PÁGINAS WEB Y OTRAS REFERENCIAS:**

<http://www.efficacia.es/>

<http://www.eere.energy.gov/>

<http://www.codigotecnico.org/index?id=29>

<http://squ1.com/>

<http://www.designbuilder.co.uk/> (software en español: <http://www.sol-arq.com/designbuilder/>)

<http://www.trnsys.com/>

<http://www.soloarquitectura.com/foros/forumdisplay.php?f=38>

<http://www.mityc.es/Desarrollo/Seccion/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Reconocidos/CalenerVYP/>

<http://www.mityc.es/Desarrollo/Seccion/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Reconocidos/Otros/>