LIFE my building is green

LIFE17 CCA/ES/000088

Application of Nature-Based Solutions for local adaptation of educational and social buildings to Climate Change

Entregable: Documento de ayuda para el “Diseño de Prototipos”

06- Estudio de la influencia de las NBS respecto a la reducción de demanda de refrigeración para Badajoz

Instituto de Ciencias de la Construcción **EDUARDO TORROJA** – CSIC

Fecha: 24/10/2019

Índice

1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL MODELO BASE

2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL SISTEMA FAVE (FACHADA VEGETAL)

3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL SISTEMA FAVE EN FACHADA ESTE Y ARBOLADO EN FACHADA OESTE

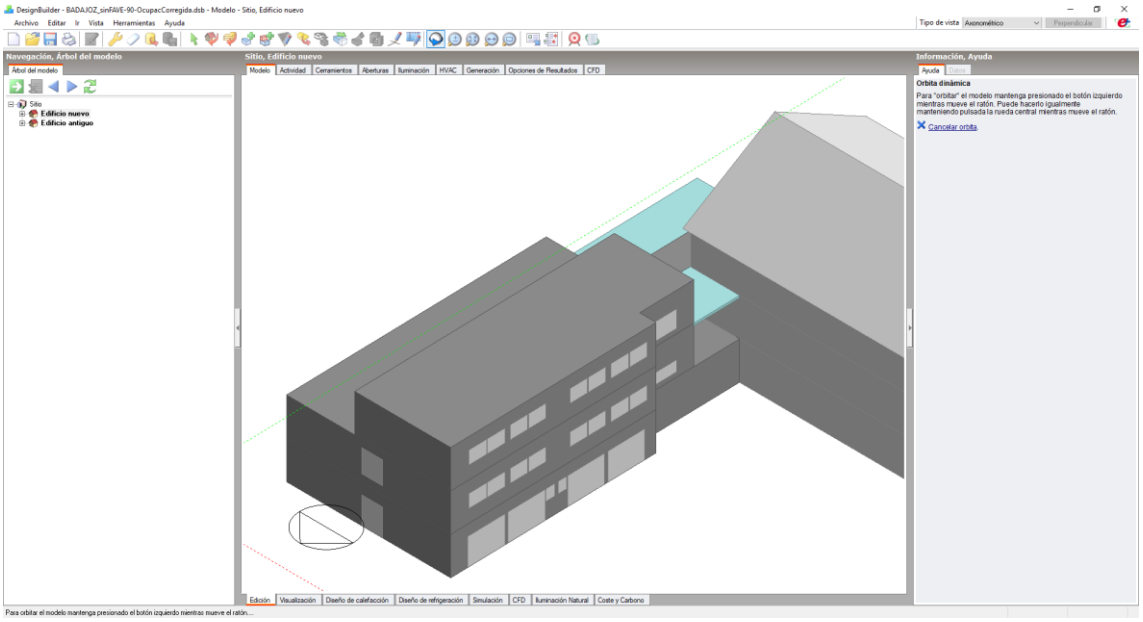
4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL SISTEMA FAVE EN FACHADA ESTE, ARBOLADO EN FACHADA OESTE Y SIMULACRO DE CUBIERTA VERDE

5. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN NATURAL SUMADA A LOS DEMÁS ELEMENTOS

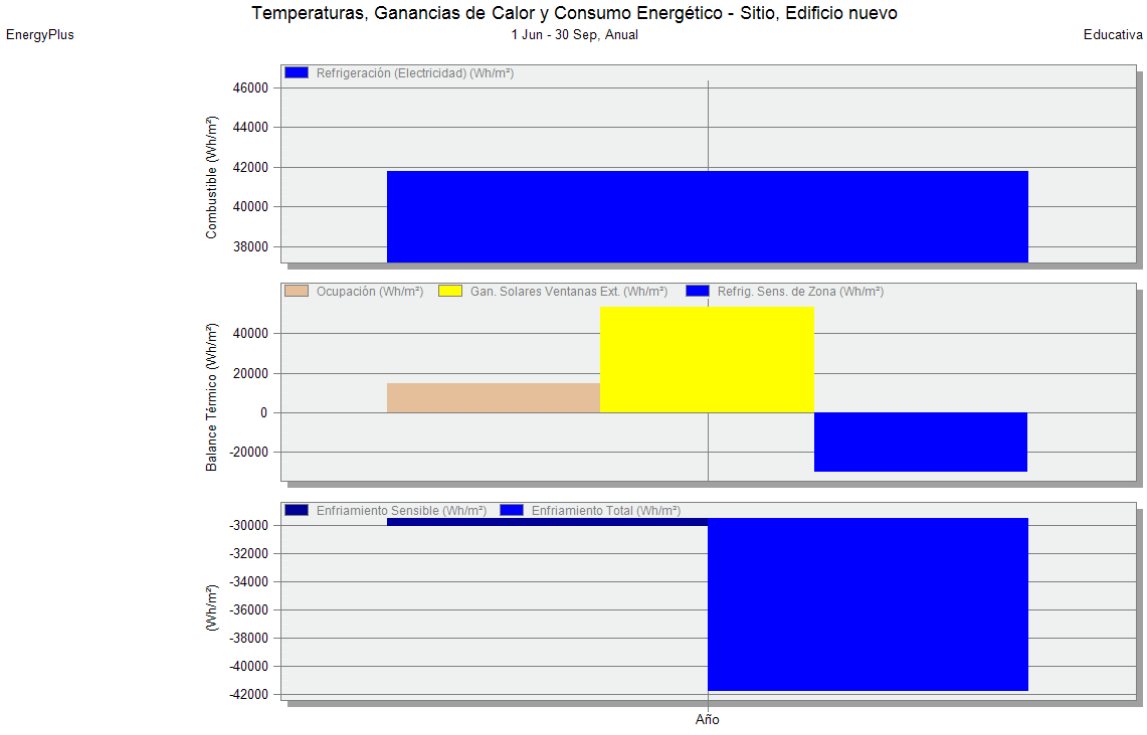
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

7. BIBLIOGRAFÍA

1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL MODELO BASE



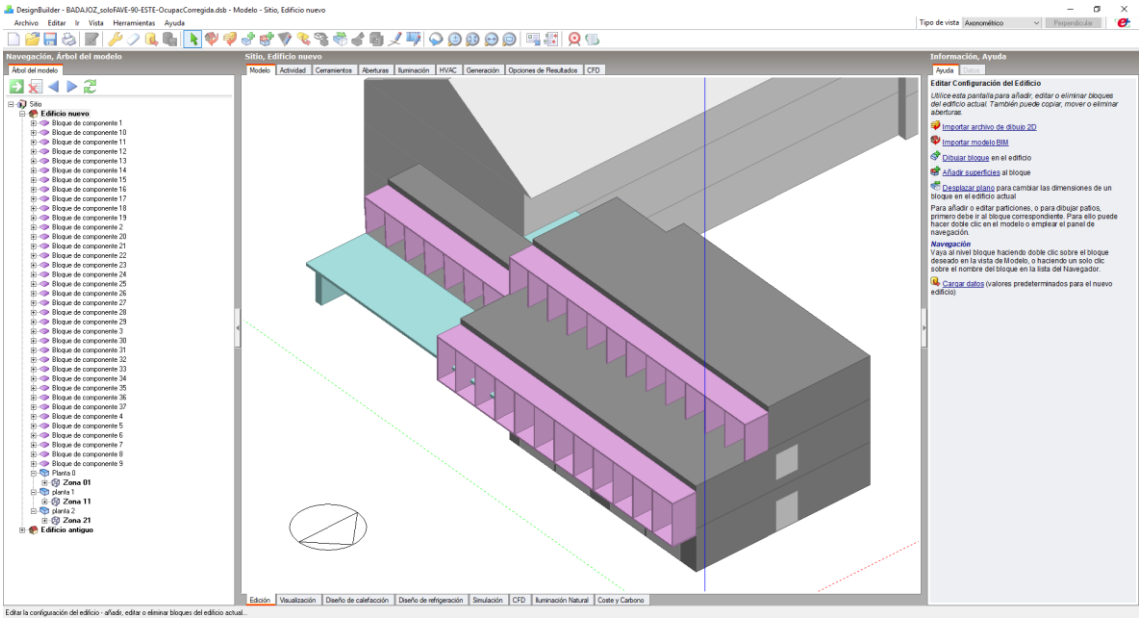
Caso 0. Modelo de simulación base (con los datos de cerramientos aportados por el CEE EA)



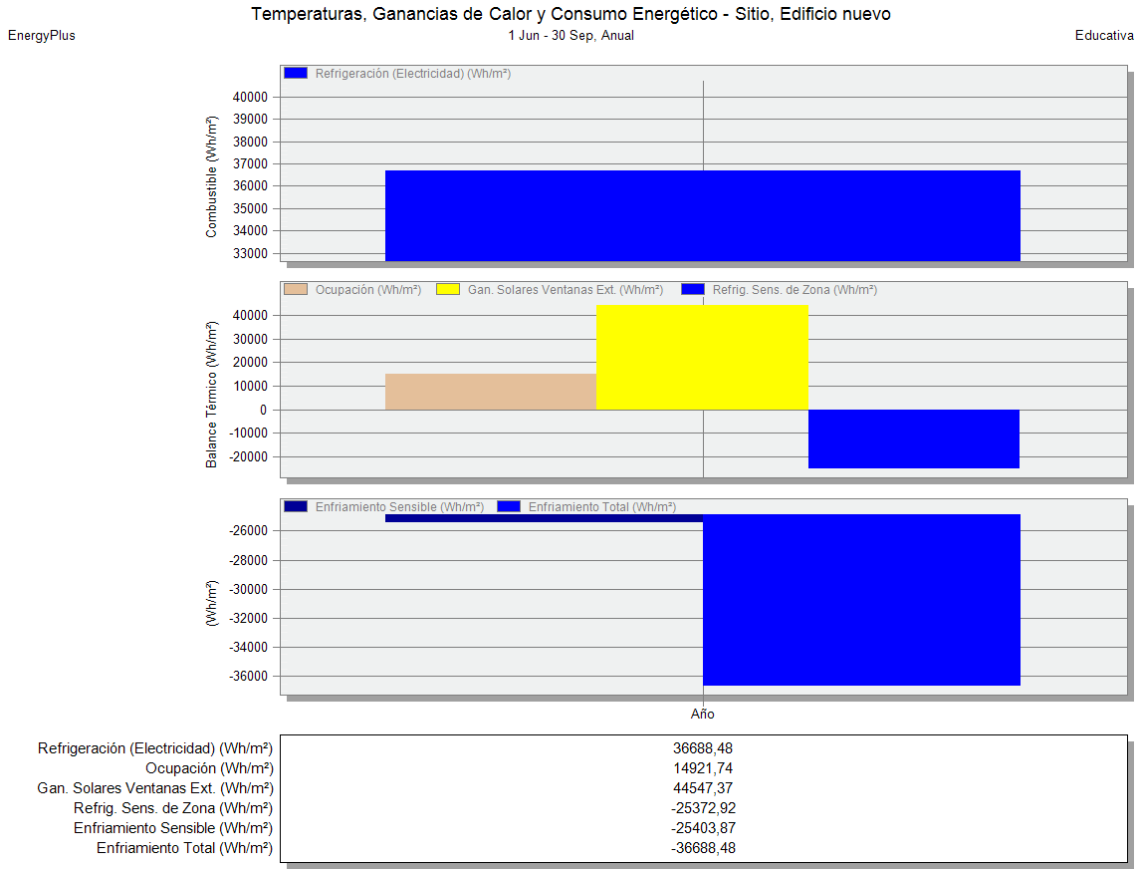
Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	41789,65
Ocupación (Wh/m²)	14896,48
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	53330,07
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-30033,04
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-30072,56
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-41789,65

Valores de demanda para todo el edificio = 41,78965 kWh/m^2

2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA EL SISTEMA FAVE



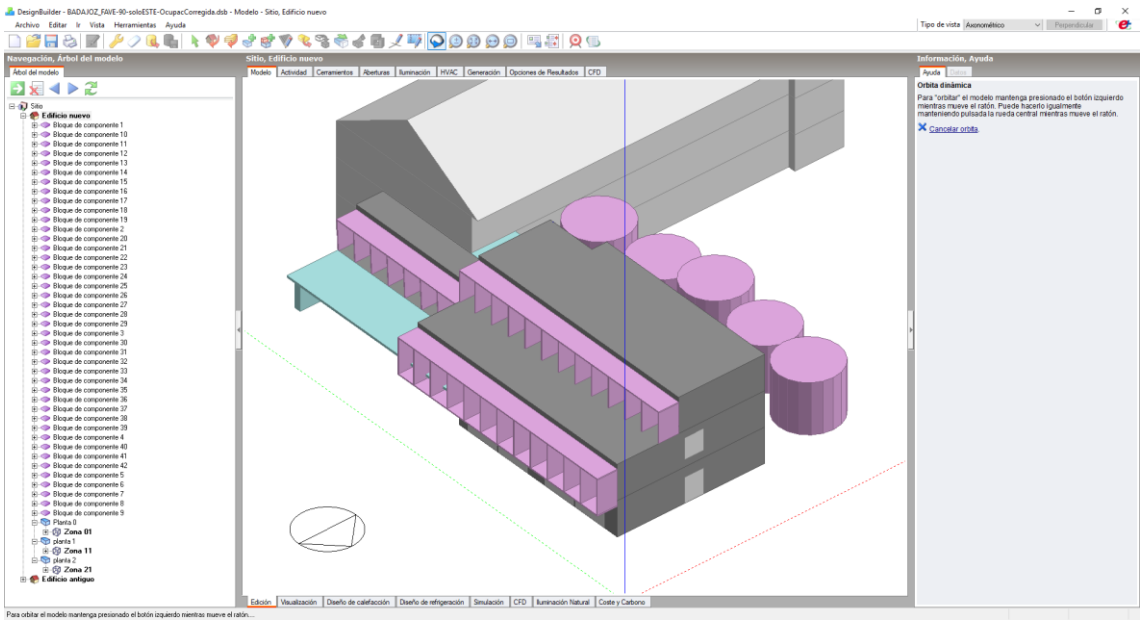
Caso 1. Modelo de simulación base, incorporando solamente el sistema FAVE



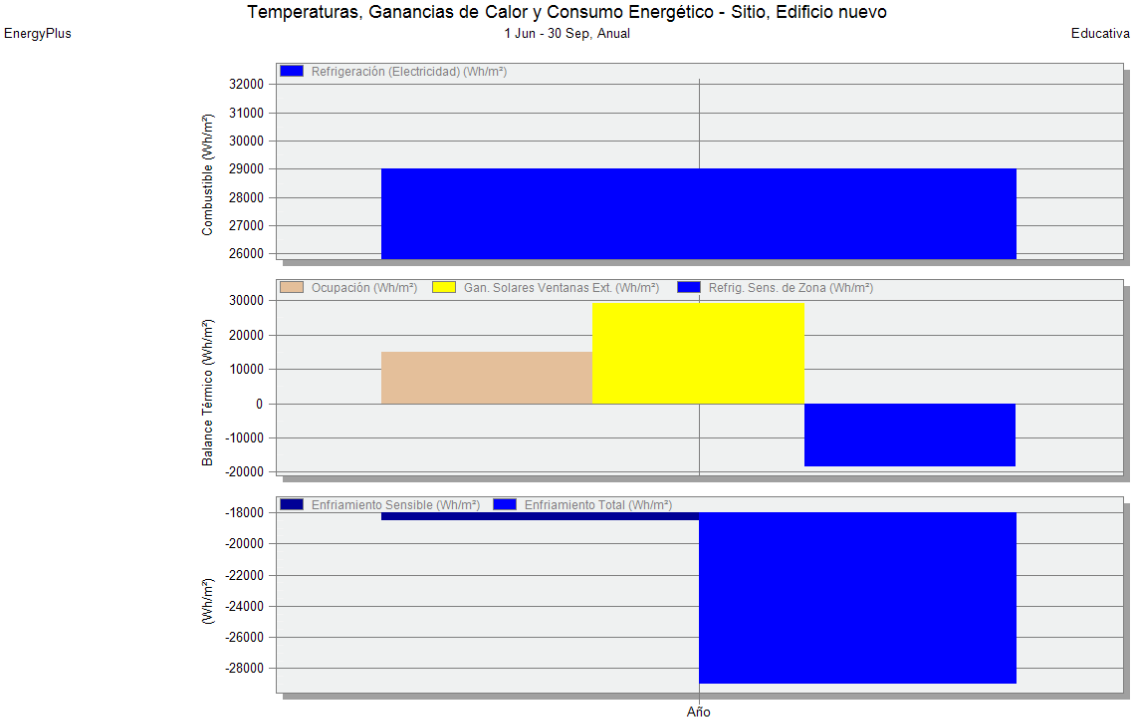
Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	36688,48
Ocupación (Wh/m²)	14921,74
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	44547,37
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-25372,92
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-25403,87
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-36688,48

Valores de demanda para todo el edificio = 36,68848 kWh/m^2

3. ANÁLISIS DE LA REFRIGERACIÓN PARA EL SISTEMA FAVE –ESTE- Y ARBOLADO –OESTE



Caso 2. Simulación del sistema FAVE en la cara Este + árboles en cara Oeste

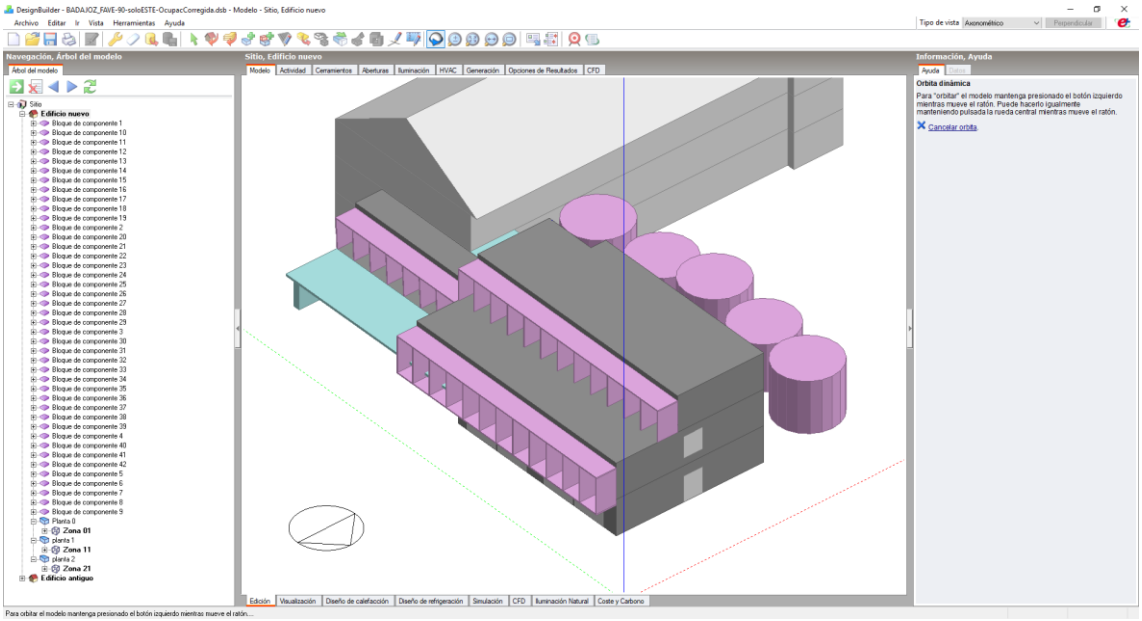


Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	29011,75
Ocupación (Wh/m²)	14989,14
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29277,92
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-18482,99
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-18498,38
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-29011,75

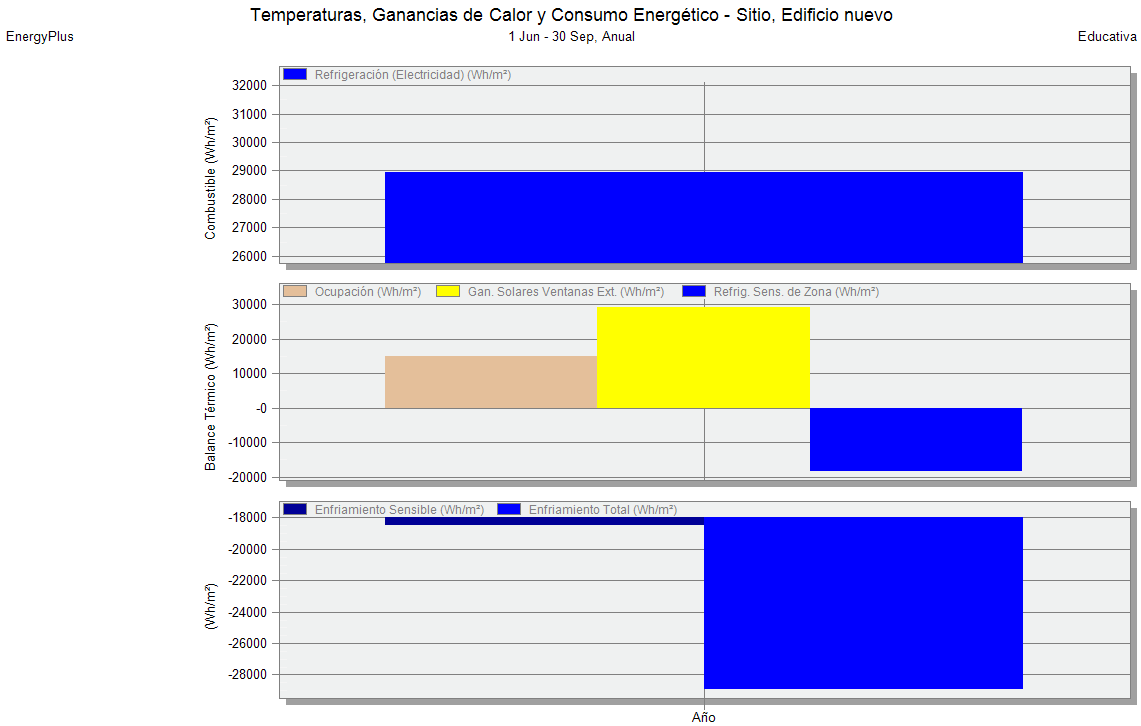
Valores de demanda para todo el edificio = 29,01175 kWh/m^2

4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN PARA FAVE+ ÁRBOLES + SUSTRATO

4.1. Empleando en la simulación una capa de sustrato con cámara de aire



Caso 3.1. Simulación del sistema FAVE en la cara Este + árboles en cara Oeste + adición de capa de sustrato de 10cm con cámara de aire de 5cm (eliminando la grava)



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	28947,16
Ocupación (Wh/m²)	14991,13
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29277,92
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-18436,17
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-18451,13
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-28947,16

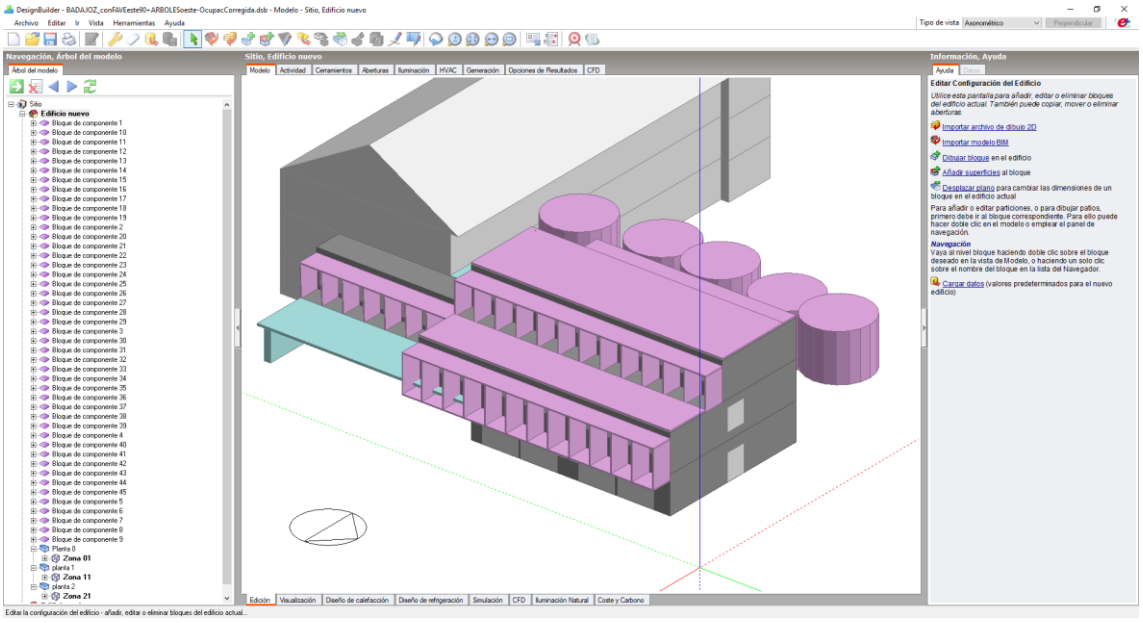
Valores de demanda para todo el edificio (salen cifras muy similares tras la colocación de una cámara de aire y un sustrato, quitando la capa de grava) = 28,94716 kWh/m^2

Se hace un inciso en este punto, dado que muchas veces se asumen simplificaciones que pueden alterar los resultados, como es el caso. Puesto que, para simular convenientemente el efecto de una cubierta vegetal, se ha de disponer de una serie de datos pormenorizados sobre los tipos de planta, altura, reflectividad, emisividad de la misma, entre otras cuestiones relativas a la definición de la cubierta/ implementada/s; se han considerado un par de estudios un paralelamente, para analizar el efecto de la cubierta vegetal de diferentes modos:

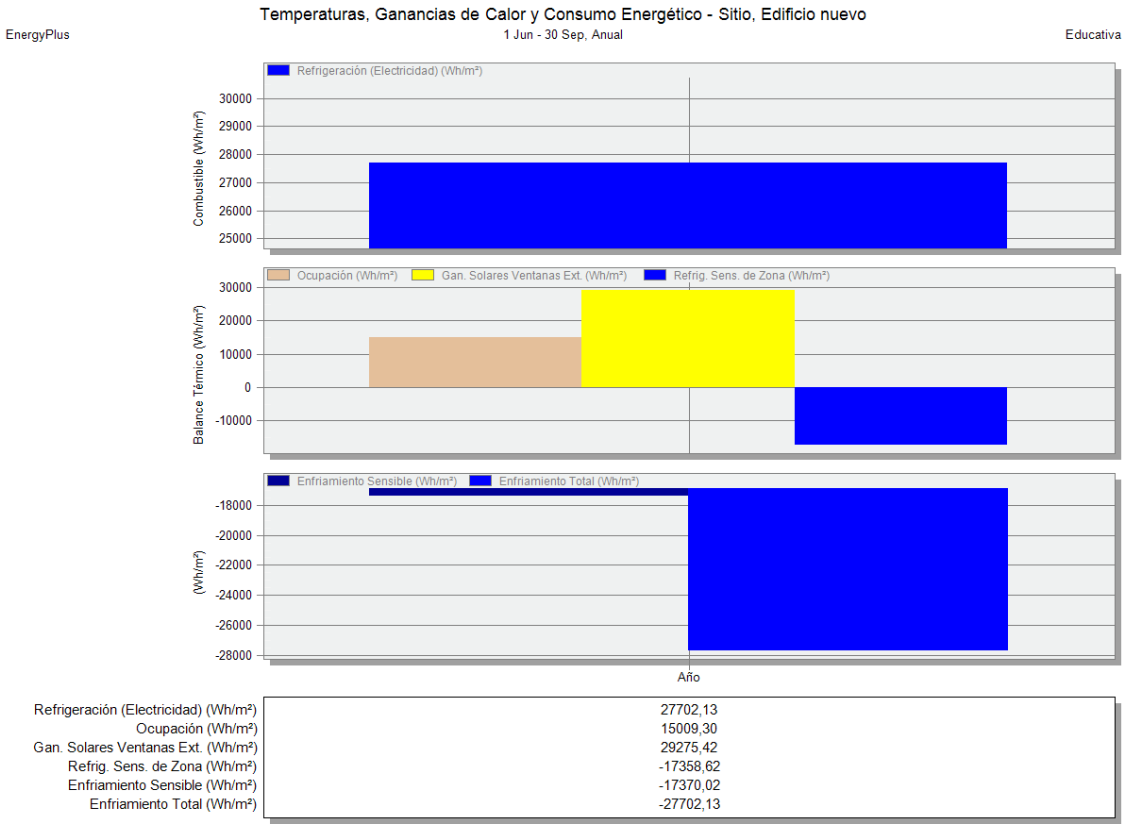
El primero (4.2.), consiste en la colocación de un objeto (bloque) que produce sombreamiento sobre la cubierta de planta alta, a fin de simular el efecto de la parte vegetal sobre la misma. Este objeto está a 10 cm de la superficie (simulando una cámara de aire) y mide 10 cm de espesor.

El segundo estudio (4,3.), más básico, pero más adecuado, permite comparar el efecto de dos tipos de cubierta (predefinidos en el programa de simulación Design Builder), considerando que ambas soluciones tienen la misma transmitancia: una no tiene vegetación (“Non-EcoRoof”) y la otra sí dispone de vegetación (definida de forma básica por Design Builder como “EcoRoof”, y que se desglosará a continuación para ver su composición y características). Ambos “cubos” de prueba, han sido ubicados en Badajoz, y se les ha aplicado la misma plantilla de uso “teaching áreas”, definida también para los modelos descritos anteriormente.

4.2. Empleando en la simulación objetos adiabáticos de sombreamiento de 10 cm de espesor, separados otros 10 cm de la cubierta actual



Caso 3.2. Simulación del sistema FAVE en la cara Este + árboles en cara Oeste + adición de objeto de sombreado plano de 10 cm de espesor, separado 10 cm de la cubierta.



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	27702,13
Ocupación (Wh/m²)	15009,30
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29275,42
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-17358,62
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-17370,02
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-27702,13

Valores de demanda para todo el edificio (con una reducción del 4,51 % en cuanto a demanda de refrigeración, respecto al caso 2) = 27,70213 kWh/m^2

La comparativa de los diferentes casos descritos anteriormente (Caso 0, 1, 2 y 3.1 / 3.2), fruto de la adición de soluciones al modelo inicial, arroja los siguientes datos de reducción de demanda energética.

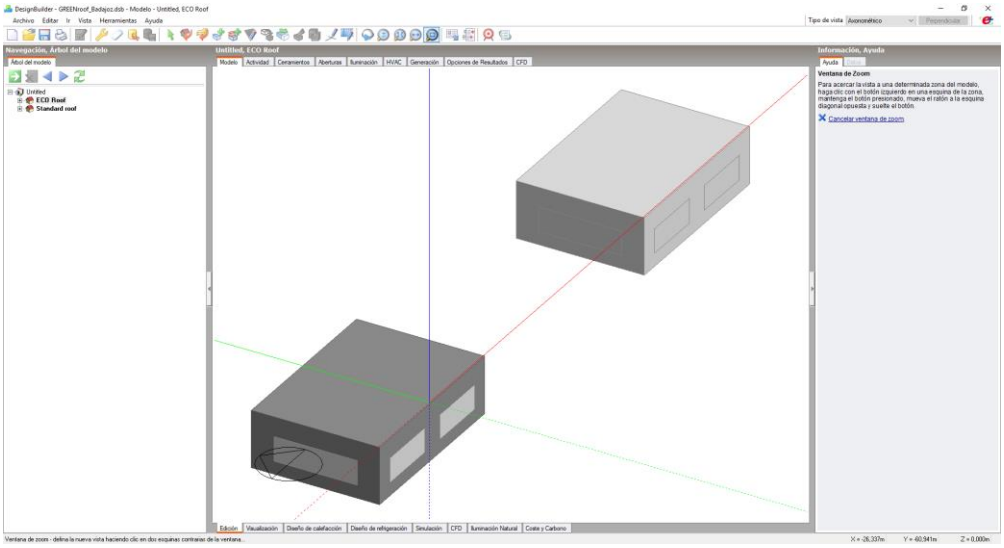
CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3.1
Sin FAVE (kWh/m2)	**Con FAVE -solo en fachada Este- (kWh/m2)**	**Con FAVE -Este- y Árboles -Oeste- (kWh/m2)**	**Con FAVE -Este- + Árboles -Oeste- + Sustrato (kWh/m2)**
41,78965	36,68848	29,01175	28,94716
	Reducción respecto al Caso 0	**Reducción respecto al Caso 0**	**Reducción respecto al Caso 0**
	12,21%	30,58%	30,73%
			Valores respecto al *Caso 2*
			0,22%
			CASO 3.2
			Con FAVE -Este- + Árboles -Oeste- + SombraCubierta (kWh/m2)
			27,70213
			Reducción respecto al Caso 0
			33,71%
			Valores respecto al *Caso 2*
			4,51%

TABLA RESUMEN DE LA COMPARATIVA DE CASOS DE SOLUCIONES EN FACHADA Y CUBIERTA

Se han de tomar con suma cautela los valores en kWh/m^2, puesto que el modelo se ha simulado "apagando" todos los sistemas (ACS, iluminación, equipos de oficina, etc.), y solo se han considerado unas infiltraciones estándar (de 0,7 renov/h constantemente), pero no se ha considerado ventilación adicional. Por lo que se considera cerrado durante los meses analizados anteriormente (dado que no se han aportado características de ventilación reales.

Por ello, los valores absolutos del presente documento estarían sobredimensionados con toda probabilidad.

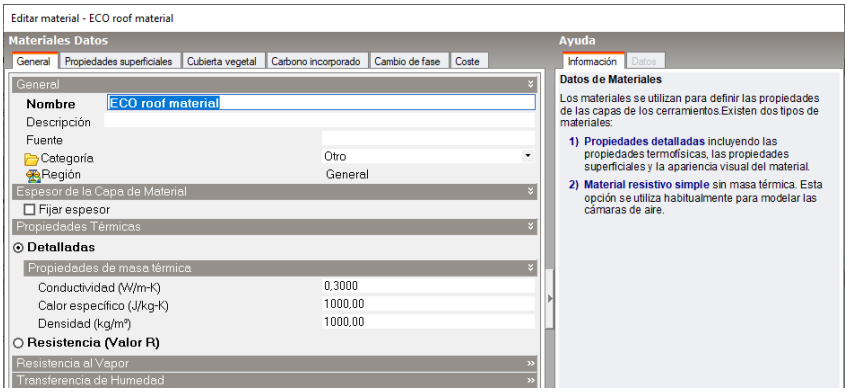
4.3. Simulando dos "módulos" idénticos, con cubiertas diferentes

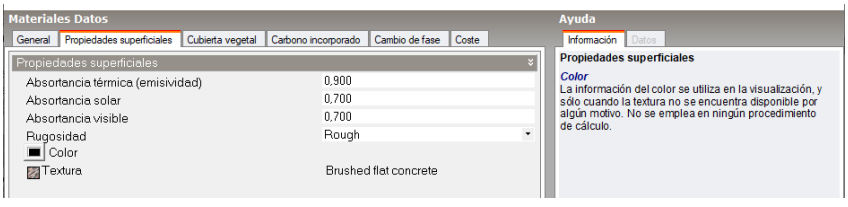


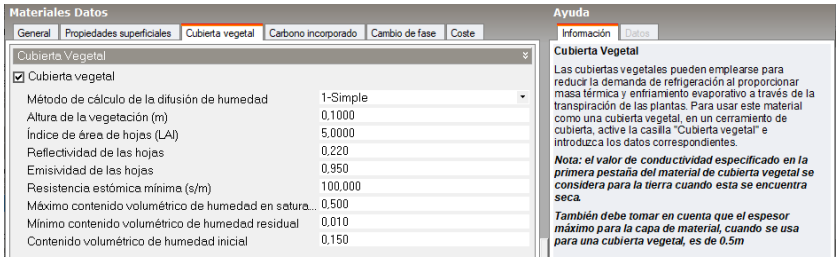
Caso 4. Simulación de dos sistema de cubierta, con idéntica transmitancia térmica, uno definido como cubierta vegetal ("EcoRoof") y el otro no ("StandardRoof").

4.3.1. Consideraciones a tomar en cuenta para modelar una cubierta verde en Design Builder.

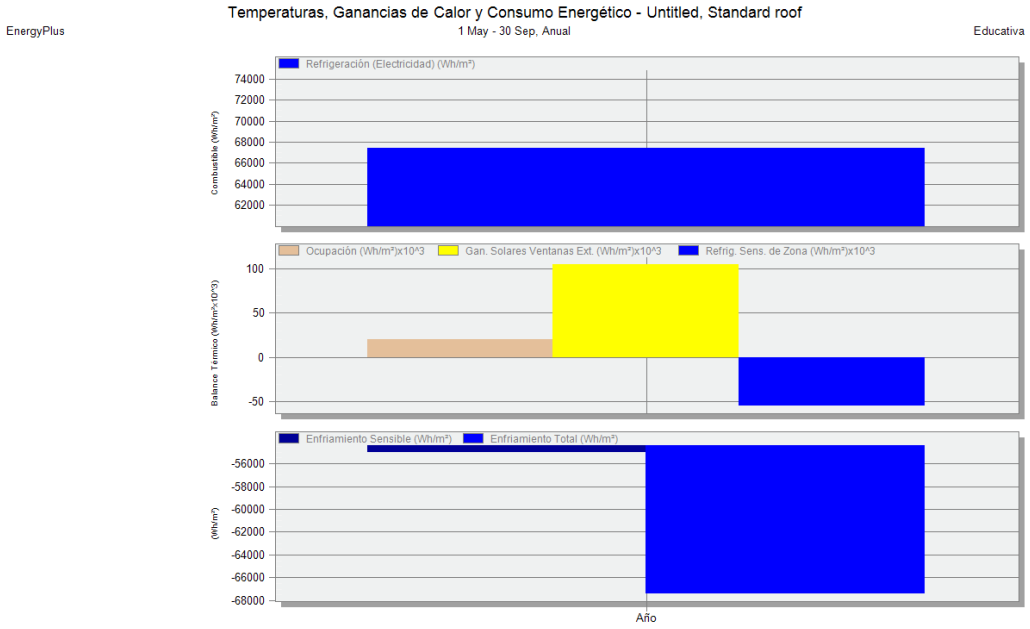
Entre otras cuestiones, pueden verse a continuación los datos que han de poderse introducir para caracterizar convenientemente una cubierta vegetal en el programa Design Builder.





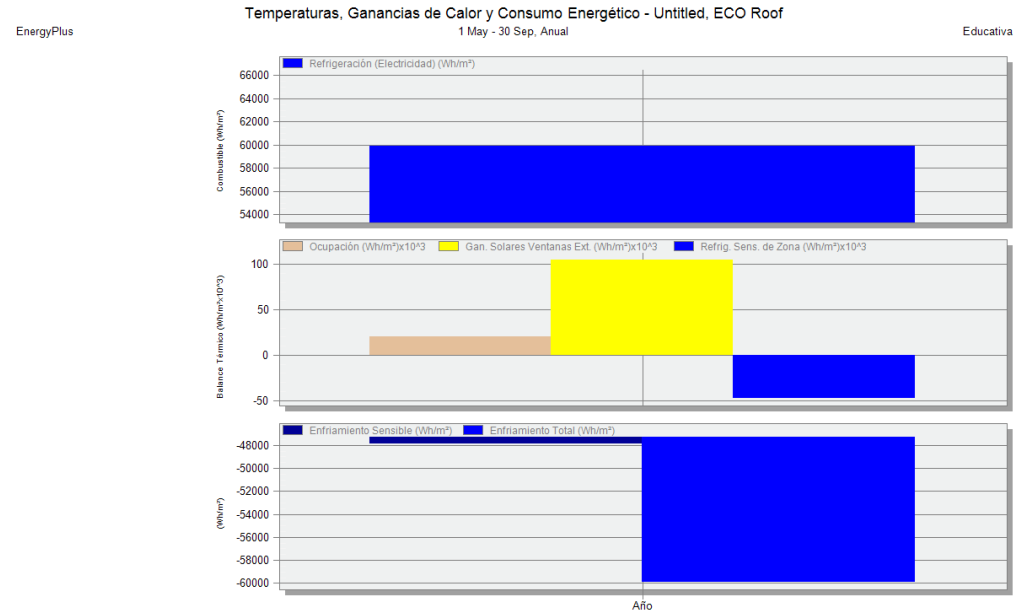


4.3.2. Resultados de la simulación en cuanto a demanda de refrigeración



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	67428,84
Ocupación (Wh/m²)x10^3	19,99
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)x10^3	105,11
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)x10^3	-54,90
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-54988,89
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-67428,84

Valores para el StandardRoof" de demanda de refrigeración del 1 de mayo al 30 de septiembre



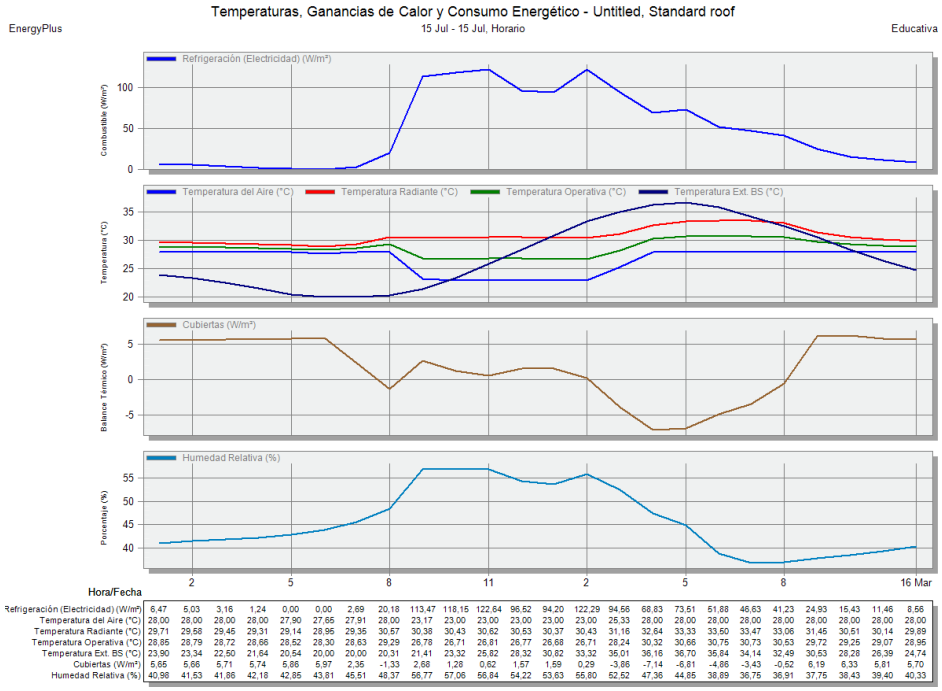
Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	59917,98
Ocupación (Wh/m²)x10^3	20,05
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)x10^3	105,11
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)x10^3	-47,78
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-47850,77
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-59917,99

Valores del "EcoRoof" de demanda de refrigeración del 1 de mayo al 30 de septiembre

	Standard Roof (kWh/m2)	EcoRoof (kWh/m2)	
			Reducción
COMPARATIVA	67,42884	59,91799	11,14%

4.3.3. Resultados de la simulación de cada uno de los módulos para el 15 de julio.

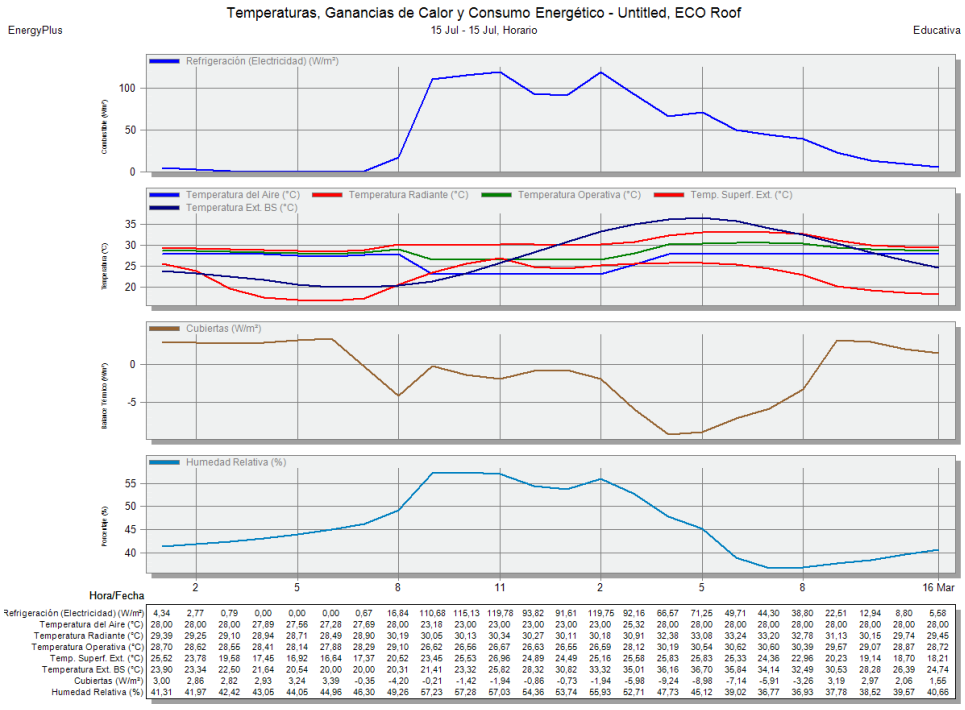
Se analizan a continuación las características de temperatura exterior y ganancias solares por la cubierta, de ambos módulos.



Refrigeración (Electricidad) (W/m²)	6,47	5,03	3,16	1,24	0,00	0,00	2,89	20,18	113,47	118,15	122,64	96,52	94,20	122,29	94,56	68,83	73,51	51,88	46,63	41,23	24,93	15,43	11,46	8,56
Temperatura del Aire (°C)	28,00	28,00	28,00	28,00	27,90	27,65	27,91	28,00	23,17	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	25,33	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Temperatura Radiante (°C)	29,71	29,68	29,45	29,31	29,14	28,95	29,35	30,67	30,38	30,43	30,62	30,53	30,37	30,43	31,16	32,64	33,33	33,50	33,47	33,06	31,46	30,51	30,14	29,89
Temperatura Operativa (°C)	28,85	28,79	28,72	28,66	28,52	28,30	28,63	29,29	26,78	26,71	26,81	26,77	26,68	26,71	28,24	30,32	30,66	30,75	30,73	30,53	29,72	29,25	29,07	28,95
Temperatura Ext. BS (°C)	23,90	23,34	22,50	21,64	20,54	20,00	20,00	20,31	21,41	23,32	25,82	28,32	30,82	33,32	35,01	36,16	36,70	35,84	34,14	32,49	30,53	28,28	26,39	24,74
Cubiertas (W/m²)	5,65	5,66	5,71	5,74	5,86	5,97	2,36	-1,33	2,68	1,28	0,62	1,57	1,59	0,29	-3,86	-7,14	-6,81	-4,86	-3,43	-0,52	6,19	6,33	5,81	5,70
Humedad Relativa (%)	40,98	41,53	41,86	42,18	42,85	43,81	45,51	48,37	56,77	57,06	56,84	54,22	53,63	55,80	52,52	47,36	44,85	38,89	36,75	36,91	37,75	38,43	39,40	40,33

Valores del “StandardRoof” para un día completo de verano (15 de julio)

Demanda de la hora pico (11:00 horas del 15 de julio) = 122,6408 Wh/m²
Demanda total del día 15 de julio = 1.143,06 Wh/m²



Refrigeración (Electricidad) (W/m²)	4,34	2,77	0,79	0,00	0,00	0,00	0,67	16,84	110,68	115,13	119,78	93,82	91,61	119,75	92,16	66,57	71,25	49,71	44,30	38,80	22,51	12,94	8,80	5,58
Temperatura del Aire (°C)	28,00	28,00	28,00	27,89	27,56	27,28	27,69	28,00	23,18	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	25,32	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Temperatura Radiante (°C)	29,39	29,25	29,10	28,94	28,71	28,49	28,90	30,19	30,05	30,13	30,34	30,27	30,11	30,18	30,91	32,38	33,08	33,24	33,20	32,78	31,13	30,15	29,74	29,45
Temperatura Operativa (°C)	28,70	28,62	28,55	28,41	28,14	27,88	28,29	29,10	26,62	26,56	26,67	26,63	26,55	26,59	28,12	30,19	30,54	30,62	30,60	30,39	29,57	29,07	28,87	28,72
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,52	23,78	19,58	17,45	16,92	16,64	17,37	20,52	23,45	25,53	26,96	24,89	24,49	25,16	25,58	25,83	25,83	25,33	24,36	22,96	20,23	19,14	18,70	18,21
Temperatura Ext. BS (°C)	23,90	23,34	22,50	21,64	20,54	20,00	20,00	20,31	21,41	23,32	25,82	28,32	30,82	33,32	35,01	36,16	36,70	35,84	34,14	32,49	30,53	28,28	26,39	24,74
Cubiertas (W/m²)	3,00	2,86	2,82	2,93	3,24	3,39	-0,35	-4,20	-0,21	-1,42	-1,94	-0,86	-0,73	-1,94	-5,98	-9,24	-8,98	-7,14	-5,91	-3,26	3,19	2,97	2,06	1,55
Humedad Relativa (%)	41,31	41,97	42,42	43,05	44,05	44,96	46,30	49,26	57,23	57,28	57,03	54,36	53,74	55,93	52,71	47,73	45,12	39,02	36,77	36,93	37,78	38,52	39,57	40,66

Valores del “EcoRoof” para un día completo de verano (15 de julio)

Demanda de la hora pico (11:00 horas del 15 de julio) = 119,7783 Wh/m² (reducción del 2,33%)
Demanda total del día 15 de julio = 1.088,79 Wh/m²(reducción del 4,75%)

Como puede verse, y a pesar de ser un modelo que contempla valores muy básicos para definir los elementos que determinan la composición de la cubierta verde, la simulación expuesta permite apreciar la disminución de temperatura superficial a lo largo del día en el caso del "EcoRoof" respecto al "StandardRoof". Así mismo se pueden observar cómo disminuyen las ganancias a través de la cubierta, llegando a hacerse negativas, lo cual indica el efecto disipador de calor de la cubierta vegetal (el dato para todo el día pasa de +41,05 Wh/m^2, en el caso del "StandardRoof", a -24,15 Wh/m^2, en el caso del "EcoRoof".

Esto nos induce a determinar la necesidad de una definición e investigación más exhaustiva de la solución que será llevada a cabo en la cubierta, para así poder llegar a un acercamiento más concreto al desempeño "real" de lo que supondría la implementación de una cubierta verde.

5. ESTUDIO DE LA VENTILACIÓN NATURAL

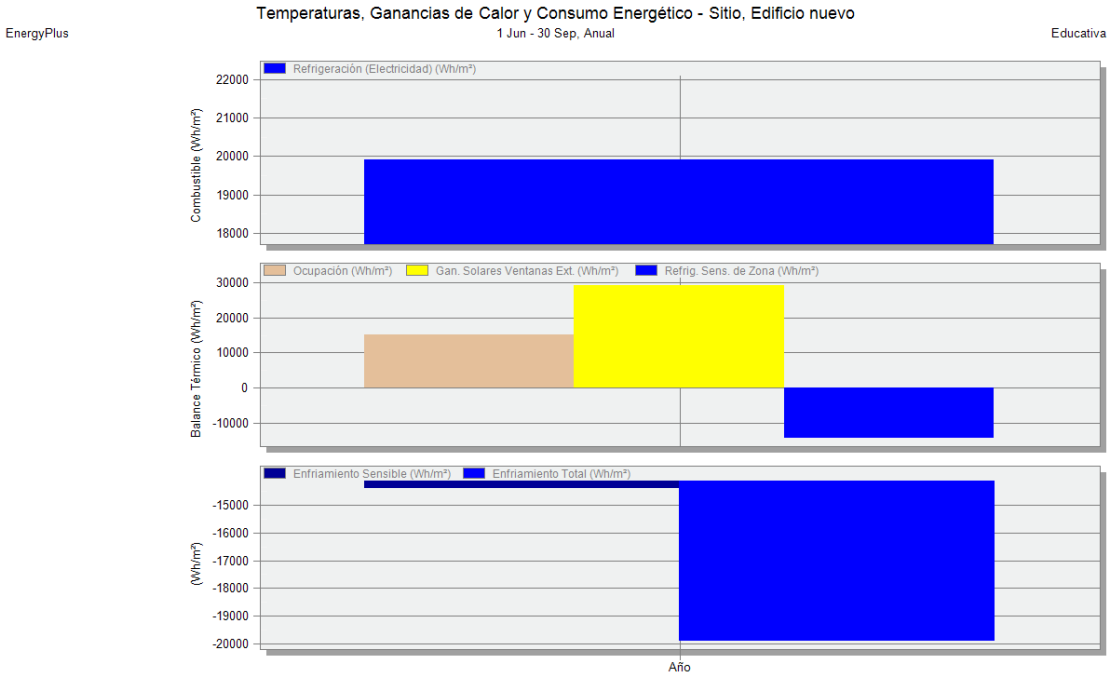
A continuación, se van a estudiar la influencia de la ventilación natural aplicada a cada uno de las soluciones anteriores (Caso 3.1 y 3.2), partiendo de dos protocolos diferentes, uno aplicando ventilación natural durante el período de ocupación (protocolo lo de ventilación 1) y otro realizando ventilación natural constante durante todo el día, para aprovechar el "freecooling" nocturno (protocolo de ventilación 2).

Para abordar este punto se ha realizado un análisis pormenorizado de la normativa relativa a ventilación (6), que aplica a centros escolares (IDA 2 -aire de buena calidad,- IDA 3 –aire de calidad media-), aplicando los datos de caudales por persona al número de alumnos por aula estándar para el caso de Badajoz.

Superficie (m2)	Altura (m)	Nº alumnos	Caudal(l/s) x persona	Normativa	Renov/hora
54,44	2,84	25	**20,0**	RITE - IDA 1	11,6
54,44	2,84	25	**12,5**	RITE - IDA 2	7,3
54,44	2,84	25	**8,0**	RITE - IDA 3	4,7
54,44	2,84	25	**5,0**	RITE - IDA 4	2,9
54,44	2,84	25	**10,0**	EN 15251 - I	5,8
54,44	2,84	25	**7,0**	EN 15251 - II	4,1
54,44	2,84	25	**4,0**	EN 15251 - III	2,3

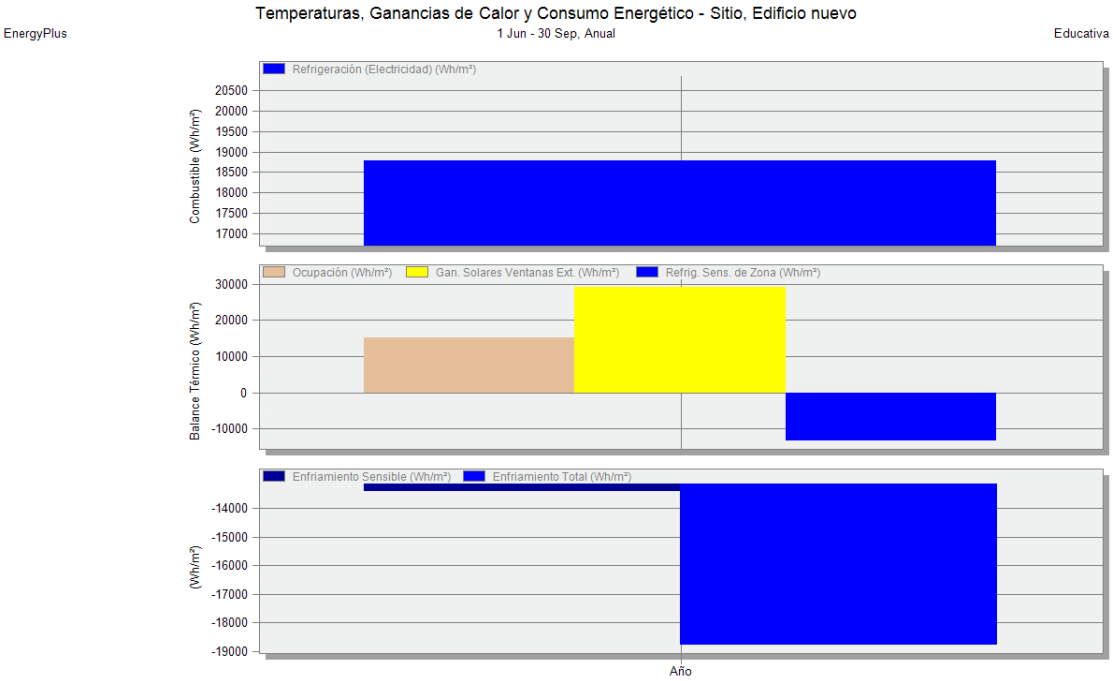
Recientes estudios relativos a ventilación en centros educativos recomendarían un mínimo de 3,5 renov/hora, para casos similares al estudiado (4), mientras que la norma EN 15251 (5), indica tres niveles (de 2,3 a 5,8 renov/hora). No obstante, se tomará en cuenta respetar los caudales mínimos determinados por la normativa española RITE para la categoría IDA 3, por lo que se van a considerar 5 renov/hora, aplicados en período de ocupación (v1) y todo el día (v2) para aprovechar el "freecooling" nocturno.

5.1. Ventilación durante el período de ocupación



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	19909,41
Ocupación (Wh/m²)	15106,81
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29277,92
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-14385,71
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-14386,12
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-19909,41

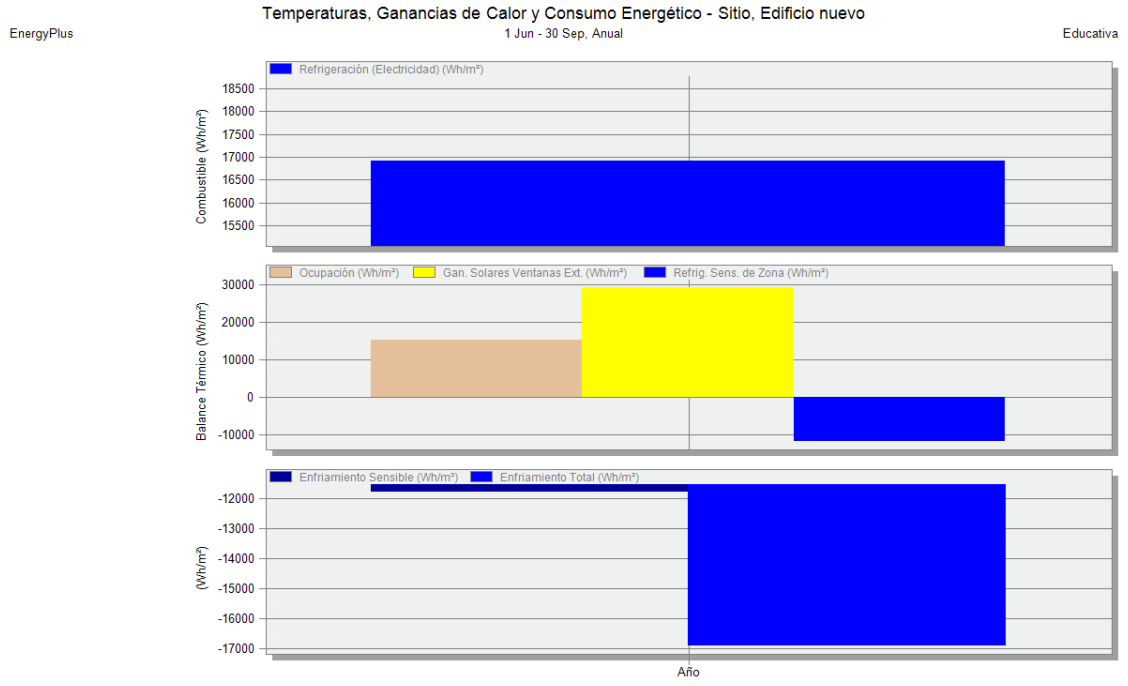
Caso 3.1. con protocolo de ventilación 1



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	18785,09
Ocupación (Wh/m²)	15128,80
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29275,42
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-13397,74
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-13395,87
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-18785,09

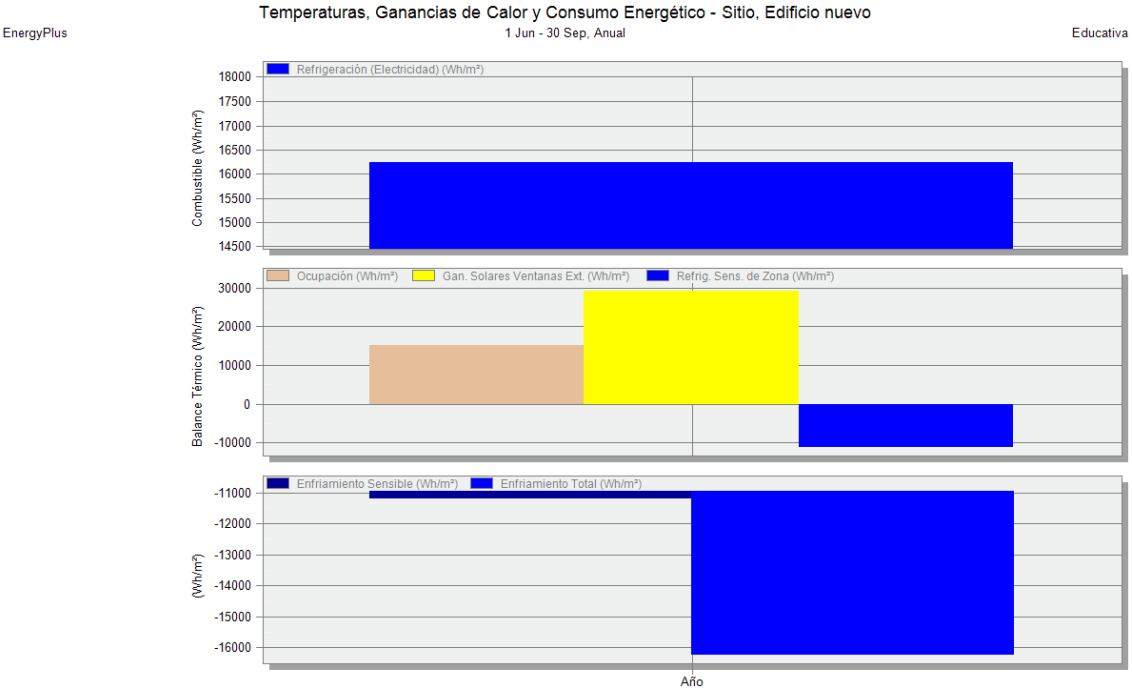
Caso 3.2. con protocolo de ventilación 1

5.2. Ventilación durante todo el día



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	16918,72
Ocupación (Wh/m²)	15281,09
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29277,92
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-11782,97
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-11770,42
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-16918,72

Caso 3.1. con protocolo de ventilación 2



Refrigeración (Electricidad) (Wh/m²)	16243,63
Ocupación (Wh/m²)	15284,31
Gan. Solares Ventanas Ext. (Wh/m²)	29275,42
Refrig. Sens. de Zona (Wh/m²)	-11199,95
Enfriamiento Sensible (Wh/m²)	-11188,25
Enfriamiento Total (Wh/m²)	-16243,63

Caso 3.2. con protocolo de ventilación 2

La comparativa de los diferentes casos descritos anteriormente (Caso 3.1 y 3.2, con el modelo base –Caso 0-), fruto de la adición de protocolos de ventilación al modelo inicial, arroja los siguientes datos de reducción de demanda energética.

CASO 0	CASO 3.1	CASO 3.1.v1	CASO 3.1.v2
Sin FAVE (kWh/m2)	Con FAVE -Este- + Árboles -Oeste- + Sustrato (kWh/m2)	Con protocolo ventilación 1 (kWh/m2)	Con protocolo ventilación 2 (kWh/m2)
41,78965	28,94716	19,90941	16,91872
	Reducción respecto al Caso 0	Reducción respecto al Caso 0	Reducción respecto al Caso 0
	30,73%	52,36%	59,51%
	CASO 3.2	CASO 3.2.v1	CASO 3.2.v2
	Con FAVE -Este- + Árboles -Oeste- + SombraCubierta (kWh/m2)	Con protocolo ventilación 1 (kWh/m2)	Con protocolo ventilación 2 (kWh/m2)
	27,70213	18,78509	16,24363
	Reducción respecto al Caso 0	Reducción respecto al Caso 0	Reducción respecto al Caso 0
	33,71%	55,05%	61,13%

TABLA RESUMEN DE LA COMPARATIVA SOBRE VENTILACIÓN

Se han de tomar con suma cautela los valores absolutos, en kWh/m², de demanda de refrigeración representados en el presente documento, ya que podrían estar sobredimensionados.

6. DISCUSIÓN Y COCLUSIONES

-En cuanto a superficies vegetales:

De todos es sabido que, en verano, la vegetación actúa como una capa protectora que sombrea los elementos de la envolvente frente a la radiación solar (2). La eficacia de una cubierta vegetal depende del tipo de vegetación y de la densidad de las hojas, expresadas por el índice de las superficies de las hojas, conocido como índice de área foliar (*leaf area index* en inglés). La ventaja del uso de vegetación en cubierta está ligada a la capacidad de las plantas de absorber parte de la radiación solar recibida y poder utilizarla para sus funciones biológicas (evapotranspiración, fotosíntesis, etc.). Mientras existe suficiente cantidad de humedad en el sustrato, la evapotranspiración es proporcional al estrés térmico, lo que significa que este mecanismo de enfriamiento biológico se adapta a las condiciones ambientales maximizándose cuando la irradiación solar es alta, es decir, los momentos de mayor demanda de refrigeración en los edificios. Esto no sería así cuando el sustrato está seco. (1)

Considerando que el aire entre las hojas se mantiene a una temperatura relativamente baja y la capa de vegetación sombrea la superficie, la parte superior del sustrato consigue mantenerse a una temperatura más baja que la temperatura ambiente. Si consideramos la gran capacidad térmica del sustrato, sobre todo cuando el contenido de humedad es alto, las cubiertas vegetales ejercen la función de disminuir la temperatura de la capa exterior de los cerramientos, evitando así una excesiva exposición a la radiación solar. Este sistema de enfriamiento funciona durante las temporadas cálidas del año, reduciendo en gran parte la demanda energética de refrigeración. (3)

Las conclusiones de distintos estudios sobre el ahorro energético en calefacción y refrigeración derivado de la instalación de superficies vegetales resultan en ocasiones contradictorias, sobre todo cuando se basan en simulaciones. Esto se debe en parte al gran número de parámetros necesarios para describir los fenómenos físicos que tienen lugar en el interior del volumen vegetal (1). Con el objetivo de facilitar el estudio muchas veces se asumen simplificaciones que pueden alterar los resultados, como podría ser este caso.

Esto nos induce a determinar la necesidad de una definición e investigación más exhaustiva de la solución que será llevada a cabo en la cubierta, para así poder llegar a un acercamiento más concreto al desempeño “real” de lo que supondría la implementación de una cubierta verde a través de la simulación. *(A este respecto se está buscando una colaboración con un grupo de investigación del GBCe, conjuntamente con la UPM; ya que son grupos que están investigando las diferentes opciones y variantes del “GreenRoof” -recogido por el programa DesignBuilder-, para su explotar al máximo su simulación al desempeño real que tendrían este tipo de soluciones en cubierta).*

-En cuanto al calibrado del modelo:

En la mayor parte de aspectos se ha podido adecuar el modelo base a las condiciones reales del centro educativo real. Como son, por ejemplo: Composición constructiva de la envolvente, en cuanto al dimensionamiento y composición de la misma, gracias a la aportación del

Certificado de Eficiencia Energética, y a los valores de transmitancia de cada uno de los elementos que la componen. También se ha podido ajustar el horario de ocupación y elnúmero de alumnos por aula, en cada caso. No obstante, existe una ausencia de datos reales de cómo se efectúa la ventilación, en la actualidad. A pesar, de que durante los meses de verano en que no hay actividad, se tiene la certeza de que no se ventila, no se dispone de algún dato que permita saber cómo se efectúa la renovación de aire durante el período lectivo.

Por otro lado, en cuanto a los datos procedentes de la monitorización, que podrían haber sido de utilidad para calibrar y ajustar el modelo base, son por el momento de difícil gestión. Dado que no se dispone de la ubicación en el plano de cada uno de los sensores numerados, y los datos obtenidos hasta la fecha, en el caso de Badajoz, presentan diversos vacíos de forma alterna y aleatoria a lo largo del período de monitorización. De tal manera, habrá que esperar a disponer de una información más continuada y homogénea para seguir ajustando el modelo.

-En cuanto a la ventilación:

Como se ha expresado en el párrafo anterior se han de disponer de datos relativos a la ventilación del estado actual para poder partir de una situación base (Caso 0), lo más fiel posible a la realidad.

No obstante, el breve estudio de ventilación realizado, indica que la idoneidad de proponer protocolos de ventilación natural para los meses de verano, compatibles con el fomento de la refrigeración nocturna (“freecooling”), y cumpliendo con la normativa vigente estatal (o la más restrictiva, en cada caso), que garantice una calidad del aire media (como mínimo).

-COMO CONCLUSIÓN FINAL:

Puede decirse que, mediante la adición de las diferentes soluciones basadas en la naturaleza (NBS), -analizadas paulatinamente en el presente documento, y cuyos resultados pueden considerarse en todo caso del lado de la seguridad, en todo caso-, se pueden lograr porcentajes de reducción de la demanda de refrigeración que superan el 50%.

No obstante, y aunque el presente documento sirve de guía como punto de partida de dicho análisis, se continuará investigando en una mayor profundización del comportamiento de las distintas soluciones para lograr una mayor similitud entre el desempeño real esperado de dichas soluciones (y confirmado por diferentes estudios científicos realizados que así lo demuestran) y el resultado que arrojen las simulaciones de dichas soluciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

(1) OLIVIERI, F. (2016). *Envolventes "verdes": Reducción biológica de la demanda energética en la edificación. Revista CIC, UPM.*

(2) ALCAZAR, S. S. (2016). *Efecto de las cubiertas ajardinadas sobre el microclima urbano de verano.* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

(3) Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (2000). La cubierta ecológica como material de construcción. *Informes de la Construcción*, *52*(467), 15-29.

(4) Krawczyk, D. A., & Wadolowska, B. (2018). Analysis of indoor air parameters in an education building. *Energy Procedia*, *147*, 96-103.

(5) Olesen, B. W. (2012). Revision of EN 15251: indoor environmental criteria. *REHVA Journal*, *49*(4), 6-12.

(6) Ministerio de Presidencia (2007). Real Decreto 1027/2007, *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).* Bolietín Oficial del Estado 207, 35931-35984.