



**Edificio de energía CERO: comenzando por la  
arquitectura. Caso práctico del edificio LUCIA de la  
Universidad de Valladolid**

**Autor:** Francisco Valbuena García

**Institución:** Asociación Sostenibilidad y Arquitectura (ASA)

**Otros autores:** González Díaz María Jesús

## Resumen

Como se muestra en este caso del LUCIA, alcanzar el edificio CERO energía, superando la directiva europea 2010/31/UE sobre “edificios de energía casi nula”, requiere de variedad de estrategias, la primera de las cuales es la concepción bioclimática de la arquitectura del edificio. Se describe en este caso de estudio cómo se ha conseguido el edificio CERO energía, donde se han establecido, en este orden, el análisis de las posibilidades (culturales, económicas, energéticas) del lugar, el diseño bioclimático, los elementos pasivos, y posteriormente se han completado con los elementos activos basados en sistemas eficaces y energías renovables.

Se detallan con parámetros y cifras en este trabajo el alcance y los logros de estos elementos pasivos, entre los cuales la definición de la forma del edificio constituye un elemento fundamental, ratificándose de forma concreta la aportación de cada uno de ellos. Se analizan elementos como coeficiente de forma y compacidad del edificio, orientaciones, volumetría, tratamiento, disposición y dimensiones de los huecos de las fachadas y cubierta, creación de volúmenes para efecto de auto-sombreamiento, aumento de iluminación natural en el interior mediante dispositivos específicos, etc., que se han tratado de forma combinada e integrada para conseguir las mejores condiciones interiores de habitabilidad, de comodidad y bienestar para los usuarios, y con ello se han alcanzado los objetivos en materia económica y medioambiental, como son mejorar la sostenibilidad de la edificación y un alto nivel en la reducción de impactos en el entorno construido.

Se consiguen reducciones energéticas, desde la media de 218 kWh/m<sup>2</sup>año de demanda de oficinas en esta zona climática, a una demanda de 65,80 kWh/m<sup>2</sup>año para calefacción y refrigeración en este edificio de laboratorios biomédicos, y finalmente queda satisfecha toda la demanda con energías renovables, con lo que finalmente el edificio no produce emisiones de CO<sub>2</sub>. Se constata, como ya se sabía, que considerar el clima como elemento fundamental en la generación de formas en el edificio (arquitectura bioclimática), consigue mejoras sensitivas que tienen su reflejo inmediato en la limitación de la demanda energética y se obtienen las condiciones óptimas que permiten completarla con energías renovables en su totalidad. Primero es la arquitectura y después los sistemas. El edificio LUCIA es “CERO energía”, certificación energética A y opta a los niveles de más de cuatro hojas en VERDE y platino en LEED.

**Palabras claves:** cero energía, arquitectura bioclimática, CO2 en edificación.

## 1. CRITERIOS PRINCIPALES.

El primero de ellos fue asegurar el máximo bienestar para los usuarios de los despachos y laboratorios. Para ello, además de las condiciones interiores (climatización, calidad de aire interior, etc.) se hizo especial énfasis en la iluminación natural de todos los espacios, en asegurar las vistas al exterior y tener soleamiento, al considerar estos factores fundamentales para el bienestar en un puesto de trabajo. Los otros criterios que estructuran el edificio han sido la funcionalidad y flexibilidad en los espacios, que permitan la transformación de los usos del edificio a lo largo del tiempo. La Universidad de Valladolid consideró además la construcción de este edificio como una oportunidad para investigar en arquitectura realizada con criterios de sostenibilidad de forma integral (diseño, reducción de la demanda energética, energías renovables, gestión de agua y residuos, inclusión de aspectos sociales y formativos).

Estos criterios anteriores conforman el edificio: es decir, definen la forma y establecen su espacio y volumetría, que resulta dictada por la mejor adaptación al uso y al lugar en que el edificio se asienta. Los beneficios del bioclimatismo adoptado están en aspectos de carácter humanístico y sensible para los usuarios, y al mismo tiempo tienen un reflejo claro en la contabilidad energética y económica del edificio que se demuestra de forma concreta a través de los estudios y simulaciones energéticas realizados. La aplicación de herramientas de evaluación de impacto ambiental ayuda a valorar de forma contante y con parámetros los alcances obtenidos con las medidas bioclimáticas. Esto es lo que se demuestra en este estudio: que el diseño bioclimático es la primera medida para realizar una buena arquitectura adaptada al medio. El edificio se encuentra en esta fecha en construcción (septiembre 2012, Figura 1)



*Figura 1. Estado de construcción del edificio en septiembre de 2012.*

En materia energética, el cuadro siguiente muestra los alcances individualizados conseguidos con las estrategias que hacen de LUCIA un edificio “cero energía”. Mediante diversas simulaciones energéticas, realizadas con las herramientas Calener y E-Quest, se establecen las comparaciones que permiten demostrar la eficiencia de las diversas medidas de diseño en la climatización del edificio de forma natural. Las simulaciones han sido realizadas por el ICCL (Instituto de la Construcción de Castilla y León), equipo externo al equipo redactor de proyecto. El Cuadro 1 muestra las demandas energéticas sobre diversas hipótesis:

- 1.- Edificio convencional de referencia, sin estrategias específicas de sombreado en el diseño, con el cumplimiento estricto de los mínimos exigibles de la normativa CTE, según el método Calener.
- 2.- Edificio sin estrategias específicas de diseño, y con las mejoras en aislamiento de la envolvente y ventilación del edificio LUCIA que superan las regulaciones mínimas exigibles de la normativa CTE, según el método Calener.
- 3.- Edificio convencional de referencia, con estrategias específicas de diseño y auto-sombra, con el cumplimiento estricto de los mínimos exigibles de la normativa CTE, según el método Calener.
- 4.- Edificio con estrategias específicas de diseño y auto-sombreado, y con las mejoras en aislamiento de la envolvente y ventilación del edificio LUCIA que superan las regulaciones mínimas exigibles de la normativa CTE, según el método Calener.
- 5.- Edificio convencional de referencia, sin estrategias específicas de diseño, con el cumplimiento estricto de los mínimos exigibles de la normativa americana ASHRAE y el método E-Quest. Se ha utilizado esta referencia pues permite valorar estrategias y aplicar valoraciones económicas para hacer un estudio más completo del comportamiento del edificio.
- 6.- Edificio LUCIA, con sus estrategias específicas de diseño y auto-sombra, sus mejoras en aislamiento de la envolvente, ventilación e iluminaciones naturales y producción de energías renovables.

El porqué se establecen las comparaciones con simuladores y normativas de origen norteamericano (ASHRAE) se debe a que estos procedimientos permiten establecer ratios de comparación entre todos los elementos que componen la demanda energética completa del edificio (climatización, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación, equipos y sistemas) de forma individualizada, e incluidas valoraciones económicas y emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que el método más utilizado en España, el método Calener, no es completo en este aspecto. Los logros de edificio LUCIA estriban en todos los componentes de la demanda energética del edificio, no solamente la climatización.

		0	1	2	3	4	5	6- LUCIA		
		CTE	CTE + mejoras	CTE	CTE + mejoras	ASHRAE	LUCIA	LUCIA		
		edificio sin ángulos de sombra	edificio sin ángulos de sombra	edificio con ángulos de sombra						
		cumplimiento CTE	mejoras sobre CTE	cumplimiento CTE	mejoras sobre CTE	cump. ASHRAE	edificio LUCIA	edificio LUCIA		
		método: CALENER				método: CALENER		método: E-QUEST		
		edificio de referencia	emisión CO2	edificio objeto	emisión CO2	edificio de referencia	emisión CO2	edificio objeto	emisión CO2	
		kWh/m2	kWh/m2	kgCO2/m2	kWh/m2	kgCO2/m2	kWh/m2	kgCO2/m2	kWh/m2	kgCO2/m2
calefacción	(a)	47,80	52,20	30,00	37,80	17,34	78,37		25,55	
refrigeración	(a)	73,90	104,80	90,80	75,30	64,10	76,20		35,60	
Bombas y otros	(b)		35,40	5,59	20,60	11,40	8,50		13,50	
Ventilación	(b)	32,20	32,20	5,21	32,20	19,69	19,10		9,20	
Iluminación	(b)	38,90	38,90	9,70	36,20	10,30	24,70		12,60	
Producción			20,40			5,10			-1,80	
<b>TOTAL</b>		<b>192,80</b>	<b>228,10</b>	<b>55,80</b>	<b>141,30</b>	<b>12,10</b>	<b>181,50</b>	<b>38,90</b>	<b>122,82</b>	<b>10,10</b>
									<b>206,87</b>	<b>46,00</b>
									<b>94,65</b>	<b>-5,00</b>

(\*) Guía de auditorías energéticas en edificios de oficinas en la Comunidad de Madrid. Comunidad de Madrid.  
(a) = Demanda- SS-A o SS-D según tipo de edificio / (b) = Energía final

**COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DE MEJORAS (BIOCLIMÁTICAS Y SISTEMAS) SOBRE LAS DEMANDAS ENERGÉTICAS Y SUS CORRESPONDIENTES EMISIONES DE CO2 EN EL EDIFICIO LUCIA**

Cuadro 1. Comparación de demandas energéticas en función de diversas estrategias bioclimáticas y normativas.

## 2. APORTACIÓN DEL BIOCLIMATISMO

La aplicación de criterios de arquitectura bioclimática, que se ha interpretado a la hora de hacer el proyecto como generadora de forma, se concreta a través de los siguientes puntos, comenzando por su implantación en el solar y orientación (Figura 2):

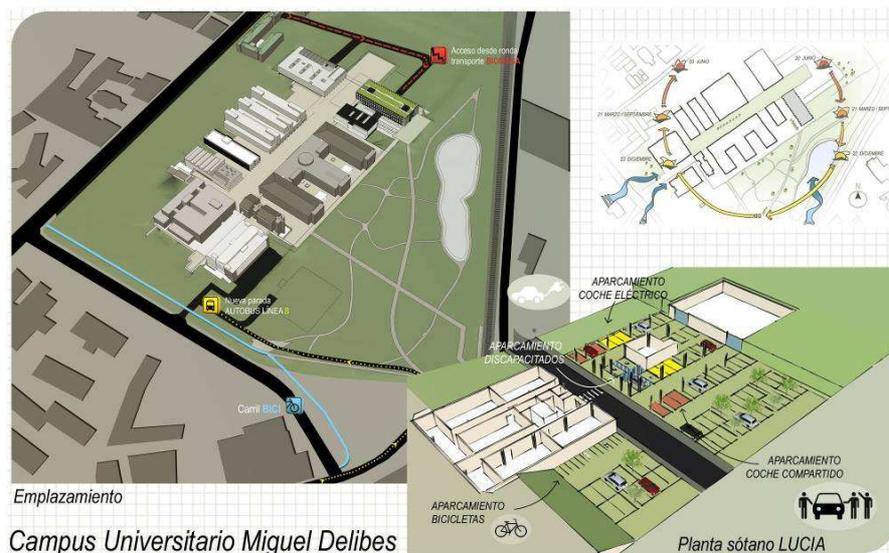


Figura 2. Emplazamiento y orientación.

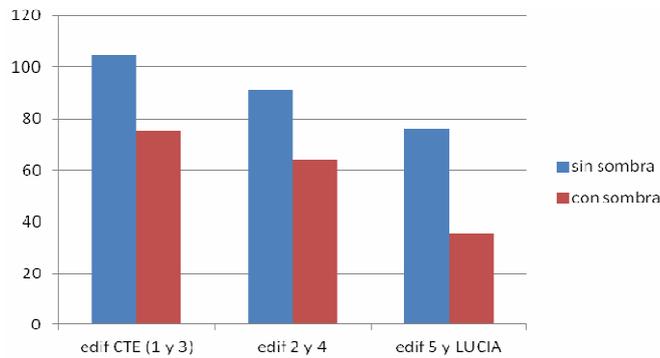
## 2.1. Soleamiento, huecos y formas.

Los huecos han sido estudiados con bastante detalle y precisión. La orientación del edificio, con largas fachadas Este y Oeste, no es la idónea para favorecer las vistas más agradables, ni para proceder al óptimo confort por lo que supone su sobrecarga de radiación solar. Por ello se redirigen los huecos hacia la orientación Sur, formando el efecto de dientes de sierra, que cierra al Norte y al Oeste el edificio, abriendo todos los espacios al Sur y al Este, las mejores orientaciones desde el punto de vista bioclimático y donde se encuentran las vistas más abiertas y con más horizonte. Los huecos, con este sistema, se orientan al Sur y al Este en una proporción del 89% de su superficie. (Figura 3)



*Figura 3. Diente de sierra y parasoles para producir efecto de auto sombra*

Este zigzag, junto con los parasoles que protegen todos los huecos, produce un efecto de auto-sombra que reduce las cargas de refrigeración sin limitar la iluminación natural (Figura 4). Según las simulaciones realizadas, y analizando comparativamente los edificios simulados del Cuadro 1, edificio numerados 1 y 3, y al mismo tiempo los 2 y 4, se concluye que el efecto de auto-sombra del diseño supone una reducción de la demanda de refrigeración de un 27 % en un edificio de estricto cumplimiento del CTE, y que en el edificio LUCIA, acompañado de otras estrategias de iluminación, supone un ahorro en la demanda de refrigeración del 29,6 %, y en la comparación con el método E-Quest, que permite establecer diferencias directas entre un edificio “de fachada recta” y el de la “fachada orientada”, el ahorro estimado por el efecto autosombra es de un 54% (Cuadro 2). La solución del zigzag, además de mejoras sensibles de bienestar para los usuarios, tiene evidentes ventajas térmicas y económicas. Ha de tenerse presente la importancia en España de la refrigeración, necesaria en varios meses al año.



Cuadro 2. Reducción de la demanda de refrigeración en kWh/m2año con el efecto de autosombreamiento entre los diversos edificios de referencia y LUCIA

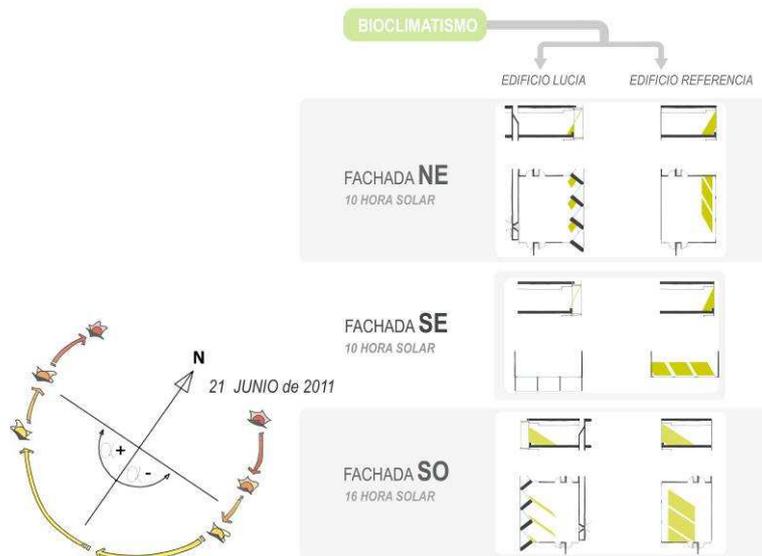


Figura 4. Efecto de auto-sombra del zigzag para reducir las cargas de refrigeración sin limitar la iluminación natural: comparación con edificio de referencia.

## 2.2. Forma e iluminación natural.

La forma compacta del edificio, buena para la reducción de pérdidas térmicas, tiene como contrapartida implementar la iluminación natural de los espacios interiores. Para ello, los espacios de circulación, escalera y junto a los ascensores reciben iluminación natural cenital introducida mediante claraboyas o lucernarios, sobre los que se situarán los módulos fotovoltaicos con otros dos objetivos: tamizar la luz y producir energía eléctrica. A estos se le suman la fachada acristalada el sur-este, formada por doble piel fotovoltaica que introduce luz tamizada al interior y al mismo tiempo produce electricidad. Y, finalmente, los dispositivos o pozos de luz situados en la parte interna de cada despacho o laboratorio aumentan el nivel de iluminación natural, transmitiéndola directamente

desde la cubierta a cada una de las plantas. Estos dispositivos, además de ampliar la iluminación natural en el interior, suponen una importante reducción de demanda energética en iluminación. La media de consumo de iluminación en oficinas, que es de 38,90 kWh/m<sup>2</sup> año, según la Comunidad de Madrid, se reduce en LUCIA a 12,60 kWh/m<sup>2</sup> año. De acuerdo con la simulación realizada, los 146.190 kWh anuales para iluminación que necesitaría el edificio de referencia (criterio de la normativa americana ASHRAE), en el LUCIA se reducen a 74.790 kWh (prácticamente la mitad) gracias a estos dispositivos. (Figura 5) En total se instalarán 27 dispositivos cuyo presupuesto de proyecto es de 13.483 €. Hay que dejar constancia de que su funcionamiento se basa simplemente en un efecto óptico, y no requiere aporte alguno de energía.

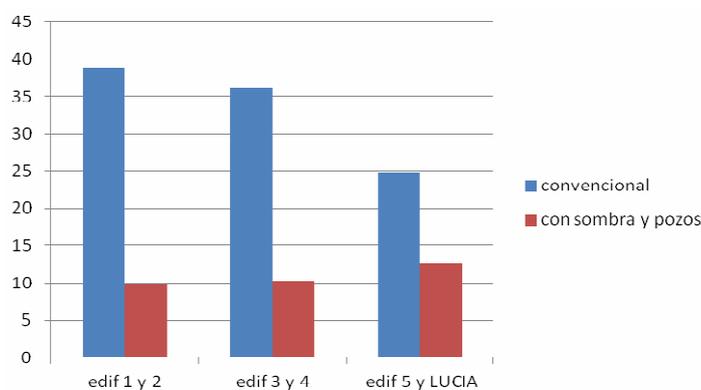
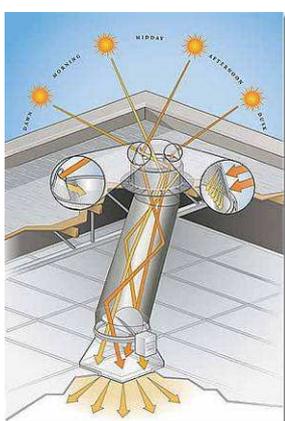


Figura 5 Pozo de luz al interior de los despachos y reducción de la demanda energética de iluminación entre los diversos edificios de referencia y LUCIA.

### 2.3. Fuerte tratamiento térmico en la envolvente

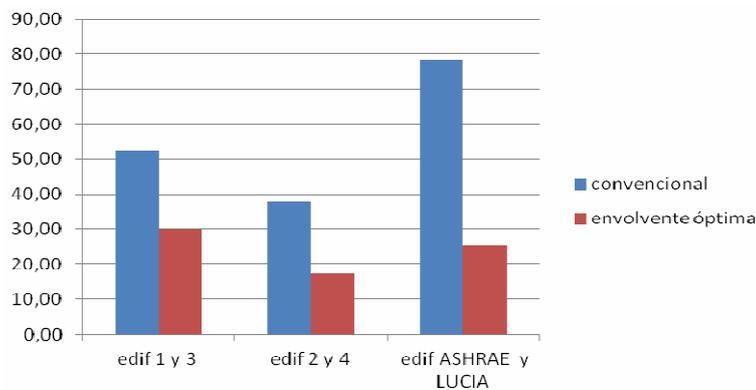
Se ha realizado una tarea de tratamiento térmico de la envolvente realmente importante, tanto en el aislamiento de cerramientos como en permeabilidad de las carpinterías. El edificio de referencia debe tener según CTE una carpintería de clase 2 (27 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>), mientras que el edificio LUCIA tiene una carpintería clase 4 (3 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>). Se relatan en el Cuadro 3 los coeficientes de transmisión térmica utilizados en la envolvente del edificio en comparación con los exigidos por el CTE y por normativa americana ASHRAE (ASHRAE 2007). Los coeficientes de aislamientos utilizados, (U=0,17 W/m<sup>2</sup>K en fachadas y U= 0,15 W/m<sup>2</sup>K en su cubierta vegetal) junto con la eliminación de los puentes térmicos de la estructura limitarán las pérdidas por transmisión y por tanto reducirán la demanda. Como contraindicación, hay un aumento de la energía incorporada en los materiales utilizados que puede ser reducido e incluso eliminado por el empleo de aislantes de origen natural (corcho aglomerado negro 100% natural), y un sobrecoste económico a compensar por la reducción en consumo de energía. Debe ser también considerado en este apartado el efecto de la inercia térmica conseguido en la propia estructura del edificio (hormigón armado) y sobre todo con la cubierta, de tipo vegetal extensivo en el 73,5% de su superficie. El Cuadro 4 muestra la comparativa de la reducción de la demanda de calefacción con estas estrategias.

CERRAMIENTOS OPACOS				
		CTE	ASHRAE	LUCIA
aislamiento	fachada	0,66	0,36	0,17
	cubierta	0,38	0,27	0,15
	soleras	0,49	0,22	0,16

CERRAMIENTOS TRASLUCIDOS					
		CTE	ASHRAE	LUCIA	
aislamiento	Sur	3,40	2,84	1,10	
	Norte	2,20	2,84	1,10	
	O y E	2,60	2,84	1,10	
f solar:		%	54,00	40,00	62,00
prop/macizo		%	60,00	40,00	46,00

Cuadro 3. Coeficientes de transmisión térmica empleados en el edificio LUCIA en comparación con los exigibles según CTE y ASHRAE



Cuadro 4. Comparativa de la reducción de la demanda de calefacción en kWh/m<sup>2</sup>año con las mejoras en la envolvente entre los diversos edificios y métodos de de referencia y el edificio LUCIA

### 3. SISTEMAS EFICIENTES

3.1.-Control de la iluminación en función de la ocupación y nivel de iluminación natural. La mejora esperada es el ajuste de los consumos a las necesidades en cada momento, y por tanto el uso de energía exclusivamente necesario para la iluminación artificial. Como contraindicación: sobrecoste económico a compensar por la reducción en consumo de energía.

3.2. Recuperación de calor. Se instala un recuperador de placas con capacidad de recuperación superior al 60% (un 100%), al considerar que el caudal de aire exterior será de 15044 m<sup>3</sup>/h.

3.3.-Empleo de recuperador entálpico combinado con pozos geotérmicos. Para la ventilación obligada por CTE, se ha utilizado como sistema de apoyo una instalación de tubos geotérmicos que precalientan o enfrían el aire, según las estaciones, previamente a la entrada en el circuito. El equivalente energético de la aportación de este sistema es de 25.000 KWh. Se reduce con ello el consumo de energía para acondicionar el aire interior, y se inicia el camino para la explotación de este sistema a mayor escala. Como inconveniente, hay un sobrecoste económico a compensar por la reducción en consumo de energía.

## 4. USO INTEGRAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL EDIFICIO Y LA PARCELA

4.1 .Producción fotovoltaica, integrada en el edificio en los lucernarios y en el muro de la fachada Sur-Oeste. Estos elementos aportan iluminación tamizada al interior del edificio y producen energía eléctrica, con el balance entre producción y coste siguiente (Cuadro 5) :

MEJORA	COSTE ECONÓMICO	AHORRO ENERGÉTICO	AHORRO ECONÓMICO
Fachada fotovoltaica de doble piel	60.500 €	5.000 kWh eléctricos	1.700 €/año
Lucernarios fotovoltaicos	44.000 €	5.500 kWh eléctricos	1870 €/año
Pozos canadienses	34.000 €	25.000 kWh térmicos - 2.7000 kWh eléctricos	- 6€/año

Cuadro 5. Balance entre coste, ahorro energético y económico de la producción de energía de origen renovable incorporadas en el edificio. Datos obtenidos mediante el sistema DOE-2 de cálculos y análisis de coste y programa E-Quest.

### 4.2. Microclimas y geotermia del solar.

El solar tiene una extensión suficiente que permite crear ciertas condiciones ambientales externas para crear microclimas mediante la vegetación, e incluso auxiliar los sistemas de ventilación con tubos geotérmicos en el exterior del edificio. Este sistema, que aclimata el aire exterior de forma natural antes de introducirlo en el sistema de ventilación, puede considerarse tanto un dispositivo bioclimático como producción energética renovable. (Figura 6)



Figura 6: detalle de pozos geotérmicos (pozos canadienses) en construcción.

La reducción del efecto isla de calor en la parcela y la creación del microclima se consigue mediante el uso de pavimentos filtrantes en exterior al edificio; cubierta vegetal intensiva tipo sedum en el 73,5% de su superficie; vegetación autóctona y árboles caducos en la parcela como elementos que contribuyen a crear microclimas.

En cuanto a la creación de este microclima externo, otra decisión tomada al respecto es la de diseñar un aparcamiento abierto y al aire libre, con pavimento filtrante de losa calada. Esta decisión, además de aportar mejoras sensitivas (en un aparcamiento es mucho más agradable el espacio abierto frente al cerrado), permite tener ventilación e iluminación naturales que reducen enormemente las demandas y equipos a suplir por energía externa, como iluminación, protección contra incendios, sistemas anti-CO<sub>2</sub>, etc. Como contraindicación está la reducción de seguridad antirrobo.

#### 4.3. Producción íntegra con renovables: cogeneración con biomasa.

El edificio utilizará exclusivamente energías renovables: fotovoltaica, geotérmica y biomasa para todas sus necesidades, incluida la energía eléctrica necesaria. En Castilla y León la posibilidad de utilizar biomasa de residuo forestal es notable, y su uso permite mejorar las circunstancias socio-económicas de la zona. La relación entre uso de biomasa y creación de puestos de trabajo es importante. Permite pensar en climatización por distrito en el ámbito del campus universitario, y los accesos y superficie del solar hacen fácil su suministro, por lo que el uso de biomasa es idóneo para el caso. Se decidió pues utilizar un sistema de cogeneración de biomasa para la producción total de necesidades del edificio: climatización (calefacción, refrigeración) y producción de electricidad. Se facilita el 100% de la demanda energética del edificio con energías renovables, (ver esquema de Figura 7), y la cogeneración con biomasa permite exportar a otros edificios del campus, incluyendo dentro del presupuesto total del edificio (el presupuesto, en ejecución material, con el que se está realizando en estos momentos el edificio, incluida la central de cogeneración de biomasa, es de 694 euros/m<sup>2</sup>). Esto hace fomentar la investigación en la utilización de sistemas de producción de energías renovables. La producción de energía renovable en la parcela, según la herramienta de simulación E-Quest es de 249.108 kWh mediante la cogeneración de la caldera de biomasa.

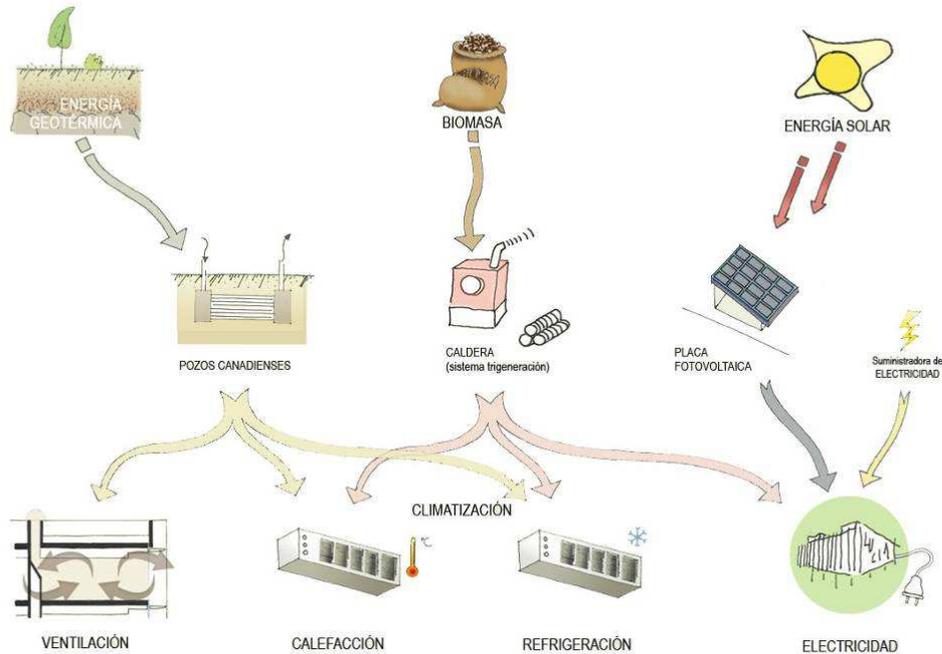


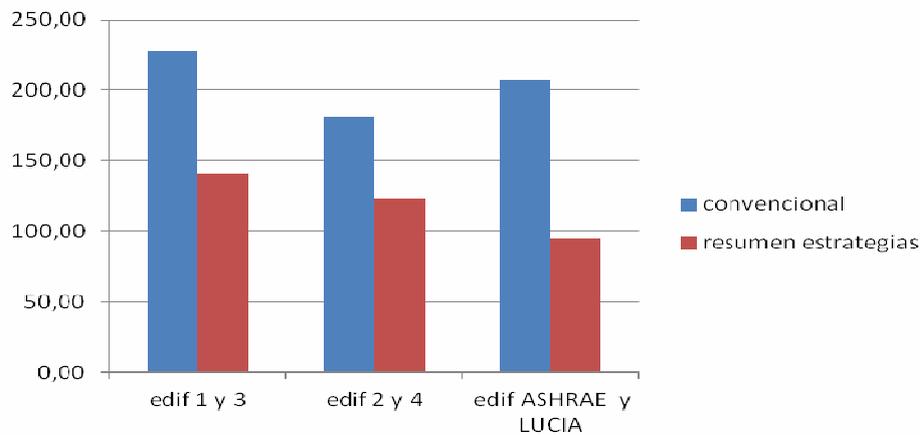
Figura 7: Esquema de integración de energías renovables (100%) en el edificio LUCIA

#### 4.4. Resumen energético.

En materia energética, la demanda anual del edificio en mantenimiento (incluida la climatización, ventilación, ACS e iluminación) es de 94,65 kWh/m<sup>2</sup>, frente a los 228,10 kWh/m<sup>2</sup> del edificio de referencia CTE o los 206,87 kWh/m<sup>2</sup> de un edificio con los requisitos ASHRAE. Hay que dejar constancia de la fuerte influencia que en el cómputo energético suponen las obligadas renovaciones de aire establecidas en las normativas. En cuanto a la producción de emisiones de CO<sub>2</sub>, este método establece los espectaculares resultados de producción negativa de - 5,00 kg/CO<sub>2</sub>m<sup>2</sup>.

Las medidas o estrategias bioclimáticas que configuran (dan forma) al edificio, consideradas parte integral de su concepción espacial, planteadas desde su origen, son la base fundamental sobre la que apoyar la comodidad interior y la eficiencia energética. Los métodos y comparaciones empleados ofrecen la información numérica y concreta que demuestran sus posibilidades. Deben ser un punto de apoyo importante para seguir investigando en materias como la refrigeración, fundamental para la mayor parte del clima español.

La gráfica siguiente (Cuadro 6) establece el descenso paulatino de la reducción energética mediante la incorporación de estrategias de reducción de la demanda, hasta completarse ésta con producción de energías renovables.



Cuadro 6. Comparativa de la reducción de la demanda total en kWh/m2año entre los diversos edificios y métodos de de referencia y el edificio LUCIA

## 5.-OTRAS ESTRATEGIAS REFERIDAS A LA SOSTENIBILIDAD.

### 5.1. Gestión del agua

La gestión del agua ha sido exhaustivamente estudiada. Se recupera el 100% del agua de lluvia recogida en la cubierta, que posee un 75% de cubierta vegetal, y se reciclará del 100% de las aguas grises para su uso en el sistema de saneamiento. Las aguas procedentes de laboratorio serán previamente tratadas antes de su vertido a la red.

### 5.2. Selección de materiales

Se han empleado de materiales con baja energía incorporada, de materiales reciclados y reciclables en gran proporción, materiales de recubrimiento de bajo contenido en elementos tóxicos volátiles (VOC) y materiales llamados “fotocatalíticos”, que actúan activamente en la reducción de emisiones de NOx de la atmósfera.

### 5.3. Exhaustivo estudio de gestión de los residuos

Tanto para la fase de obra como en la fase de uso del edificio, incluido plan de estudio de todos los generados durante la vida útil del edificio, incluyendo la creación de compost desde los residuos vegetales; e incluso en la fase de demolición y recuperación.

### 5.4. Participación del usuario.

Se está realizando y se prevé completar un Plan de información a los usuarios y al personal que utilizará el edificio, y campañas de divulgación entre agentes de la edificación y el público en general, etc., para ampliación de conocimiento y puesta en valor de los aspectos bioclimáticos y de responsabilidad en el buen uso de la energía.

## 6.- VALORACIÓN ECONÓMICA

El presupuesto (ejecución material) con el que se está realizando en estos momentos el edificio, incluida la central de biomasa, es de 694 euros/m<sup>2</sup>. Con las herramientas de simulación señaladas, se estima que el gasto anual de energía en mantenimiento del edificio, incluyendo equipamientos, es de 2 €/m<sup>2</sup> (un 75% más barato, es decir, la cuarta parte que el edificio de referencia, que cumpliendo los estándares ASHRAE gastaría 8 €/m<sup>2</sup>). (Cuadro 7). El porcentaje de ahorro económico en mantenimiento es de un 80,9% respecto al edificio de referencia. Se adjuntan los datos comparativos entre un edificio de referencia con normativa ASHRAE, cómo serían los resultados económicos en un edificio con las características de LUCIA sin el equipo de cogeneración, y cómo son finalmente los resultados con el edificio LUCIA con sus propias características, incluida la cogeneración.

		LUCIA	LUCIA sin cogeneración	edificio de referencia ASHRAE
<b>PRODUCCIÓN DE CO<sub>2</sub> ANUAL DEL EDIFICIO SIN EQUIPAMIENTO</b>				
<b>CO<sub>2</sub> ANUAL</b>	Elec adquirida	-28.600 kg CO <sub>2</sub>	133.947 kg CO <sub>2</sub>	274.644 kg CO <sub>2</sub>
	Astilla	0 kg CO <sub>2</sub>	0 kg CO <sub>2</sub>	0 kg CO <sub>2</sub>
	Total KgCO <sub>2</sub>	-28.600 kg CO <sub>2</sub>	133.947 kg CO <sub>2</sub>	274.644 kg CO <sub>2</sub>
	Total kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	-5 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	22 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	46 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO SIN EQUIPAMIENTO</b>				
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	Elec adquirida	-4.803 €	22.497 €	46.127 €
	Astilla	14.231 €	5.698 €	3.201 €
	Total €	9.427 €	28.194 €	49.328 €
	Total €/m <sup>2</sup>	2 €/m <sup>2</sup>	5 €/m <sup>2</sup>	8 €/m <sup>2</sup>
<b>AHORRO ECONÓMICO RESPECTO AL ASHRAE 90.1-2007 BASELINE BUILDING</b>				
<b>LEED</b>	Consumo Final	19,1%	57,2%	100,0%
	Porcentaje de ahorro	80,9%	42,8%	0,0%

Cuadro 7. Resultados económicos comparativos según método E-Quest.

## 7.-CONCLUSIONES

Como resumen, el edificio se presenta como un avance en los criterios que constituyen una arquitectura sostenible, muestra que la autosuficiencia energética con biomasa es posible económica y técnicamente, y abre camino y amplía conocimiento por donde seguir profundizando su desarrollo. La combinación de estrategias, comenzando por las bioclimáticas, supone una importantísima reducción de la demanda energética. Finalmente, esta demanda es resuelta de forma integral con energías renovables, por lo que el edificio es con propiedad un edificio CERO ENERGÍA. En otras materias relacionadas con la sostenibilidad y no exclusivamente energéticas (agua, residuos, materiales, aspectos de formación y conciencia social y medioambiental, etc) el edificio utiliza el conocimiento disponible y se postula como estudio en permanente innovación. Es de destacar la demostración tangible y numérica del diseño integral y de la forma del edificio para aportar soluciones en materia de climatización, que pueden servir de base a futuras investigaciones.

Comenzado en enero de 2012, posee una certificación energética A y está siendo evaluado por los métodos LEED y VERDE. Opta a LEED Platino, y cuatro hojas VERDE (ratio de 4,2 sobre 5).(Figura 8) El empleo de esta última considera que los resultados obtenidos en ahorro de impacto ambiental son los óptimos en varias áreas (cambio climático, pérdida de la fertilidad del suelo, agotamiento de aguas, cambios en la biodiversidad, etc). Las simulaciones han sido realizadas con el sistema DOE-2 de cálculos energéticos y análisis de costes, y la interfaz gráfica utilizada para la simulación es el programa EQUSET 3.64,



Figura 8: calificación energética y resultados en herramientas de evaluación ambiental de los edificios (LEED y VERDE)

## 8. AGRADECIMIENTOS

A las empresas participantes y al equipo y colaboradores en su totalidad de la Unidad Técnica de Arquitectura de la Universidad de Valladolid <sup>1</sup>.

Esta obra está incluida en el Programa de Infraestructuras de Investigación y Desarrollo Tecnológico 2010-2012, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y el propio Programa de Infraestructuras de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Castilla y León.