



Trabajo de Fin de Grado
E.T.S. Arquitectura
S.P. 2018



Análisis energético de los edificios de la UPM.

Puntos críticos y mejoras

Jorge Herrero Lozano

Título

Análisis energético de los edificios de la UPM.

Subtítulo

Puntos críticos y mejoras.

Autor

Jorge Herrero Lozano

Tutor

Francisco Javier Neila González

Contribución adicional al trabajo

María del Carmen Giménez Molina

Aula de Trabajo de Fin de Grado 2, coordinada por

Antonio Eduardo Humero Martín

Semestre de Primavera, Junio de 2018

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid



La modificación de tus hábitos mejorará nuestro entorno



Resumen

Los cambios en el medio ambiente por la acción humana están generando nuevas necesidades a las que los humanos nos tenemos que adaptar de forma respetuosa y sostenible. La Universidad Politécnica ha desarrollado un Plan de Sostenibilidad Ambiental con fin de mejorar su eficiencia y comportamiento, promoviendo el desarrollo de Trabajos de Fin de Grado que sigan esta línea.

La realización de este trabajo está centrada en estudiar la eficiencia energética de los edificios de la UPM del campus de Ciudad Universitaria. Se va a analizar el comportamiento actual a nivel cuantitativo y de indicador por letra para localizar los puntos críticos y conocer los edificios que requieren intervención prioritaria. En base a los resultados, se proponen mejoras que contribuyan a adaptar a la UPM a los requerimientos medioambientales actuales. Las mejoras son recogidas en un catálogo adaptado a cada caso particular y se verifica su validez mediante la realización de un caso práctico.

El trabajo tiene como objeto final hacer una reflexión sobre la forma en que estamos habitando y haciendo uso de nuestro entorno. Desde la arquitectura tenemos que pensar cómo conseguir edificios con menor impacto sobre el medio y sobre todo, cómo mejorar y adecuar los ya construidos.

Conceptos clave.

Certificación energética; eficiencia energética; entorno; mejoras energéticas; necesidades medioambientales; sostenibilidad



ÍNDICE

Introducción

Motivación

Objetivos

I. CONTEXTUALIZACIÓN

1. Localización y contexto
2. Certificación energética

II. NIVEL DE RIGOR DE LA DOCUMENTACIÓN

3. Documentación utilizada
4. Análisis de nivel de rigor
5. Conclusiones

III. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS

6. Estudio general
7. Análisis cuantitativo de consumo, demanda y emisiones
8. Análisis de calificación según el indicador por letra
9. Elección de edificios

IV. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

10. Análisis comparativo de funcionamiento energético de edificios
11. Contraste de resultados

V. PROPUESTA DE MEJORAS

12. Estudio de la protección patrimonial. Edificios catalogados
13. Listado de propuestas de intervenciones

14. Catálogo de mejoras energéticas e intervenciones adicionales
15. Caso práctico de propuesta de mejora

VI. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

VII. CONCLUSIONES

Apéndices

- A. Tablas auxiliares
- B. Bibliografía



Introducción

La arquitectura es una disciplina que debe ajustarse a los distintos tipos de necesidades de la sociedad. Tras una época de globalización e internacionalización de la arquitectura, en la actualidad nos encontramos ante una situación de cambios y necesidades energéticas que los edificios deben responder. La forma en que se relacionan con el entorno contribuye en muchos casos a la destrucción del medio mediato e inmediato, ya que se ignoran las condiciones climáticas y necesidades medioambientales. Mediante este trabajo se va a tratar un tema de interés general que afecta al modo de hacer y utilizar los edificios.

Se va a investigar sobre la eficiencia energética y los factores que influyen en el comportamiento de los edificios. Para ello se estudian los edificios de la Universidad Politécnica de Madrid, cuyas características son muy distintas debido a las épocas en que han sido construidos. Al analizarlos podemos saber cómo es su funcionamiento energético, tanto general como particular, y a qué se debe. Partiendo del estado actual en que se encuentran podremos situar a la universidad dentro del marco energético y saber cuánto se aleja de los requerimientos medioambientales que están por venir.

En la primera parte se va explicar qué es una certificación energética, cómo funciona, qué información nos da y cómo hay que proceder para su realización. Después habrá una segunda fase de análisis de los edificios para saber cuáles son aquellos que están funcionando mejor y cuáles peor. Contrastando los factores que influyen en su comportamiento se determinará qué tipos de intervenciones son las que hay que llevar a cabo para mejorarlos. Estas intervenciones van a ser recogidas en un catálogo que se ajusta a las necesidades de cada caso particular y conforme a la protección patrimonial que recae sobre cada uno de ellos.

Finalmente, para verificar la validez del trabajo se realizará un caso práctico por el que se mostrará la mejora de la eficiencia y cómo las intervenciones mejoran notablemente el comportamiento.

Motivación

El medioambiente está cambiando indudablemente a peor por la forma en que los humanos hemos hecho uso del medio y sus recursos. Lejos de integrarnos en él, lo vemos como un escenario que explotar para obtener nuestro máximo beneficio y cuyas consecuencias son ajenas a nosotros. Sin embargo, el deterioro del entorno y los cambios climáticos se han visto potenciados por la acción humana, que a día de hoy sigue una misma dirección sin aceptar la responsabilidad que corresponde. La principal motivación de este trabajo radica precisamente en asumir esa responsabilidad y contribuir a la mejora de nuestro entorno.

Desde hace años he sentido gran interés por el medioambiente, sus ecosistemas y la forma que los humanos tenemos de habitarlo. Como nuestra intervención tiene consecuencias directas, todos podemos contribuir personal y profesionalmente a mejorarlo. Mi labor como arquitecto consiste por tanto en entender la relación de los edificios y la ciudad con la naturaleza y características del clima en que se emplazan. Para ello es necesario entender cómo funcionan los edificios desde el punto de vista energético y su impacto medioambiental con fin de aplicar estos conocimientos en la práctica profesional.

Finalmente, la elección de trabajar en el campus de la universidad se debe a la convocatoria de becas para la mejora de la sostenibilidad de la UPM. Esta elección ha sido determinante ya que aunque el trabajo habría tenido un enfoque vinculado a la sostenibilidad, me ha permitido obtener conocimientos bastante relevantes sobre el comportamiento energético de los edificios.



Objetivos

Hay cuatro objetivos fundamentales en la realización del trabajo.

1. El primer y principal objetivo consiste en entender el funcionamiento energético de los edificios de la UPM que forman el campus de Ciudad Universitaria. Para ello habrá que atender tanto a las certificaciones de los edificios como a factores externos que no se contemplan en las mismas y afectan a su funcionamiento.
2. Una vez analizados todos los edificios y con una idea general de su eficiencia, el segundo objetivo consiste en localizar los puntos críticos y motivos de pérdida de energía. Es decir, saber dónde se localizan las mayores pérdidas y por qué los edificios funcionan como lo hacen y consumen lo que consumen, independientemente de que sea buen o mal comportamiento.
3. Localizados los puntos críticos y sabiendo cómo proceder en base a todo el análisis, el tercer objetivo consiste en realizar propuestas de mejora de los edificios que sean reales, puedan llevarse por tanto a cabo y mejoren notablemente el funcionamiento de los edificios. Para ello habrá que intervenir con carácter general y después particularizar en cada caso, seleccionando los edificios con peor resultado. Dentro de este punto tendrá especial relevancia la catalogación que tenga cada edificio, ya que en función de su protección podrá actuarse de una forma u otra.
4. El cuarto objetivo surge de los tres anteriores y es el objeto final del trabajo. Consiste en contribuir a la mejora de la sostenibilidad del campus desde la arquitectura, interviniendo de manera directa en los edificios y entorno que lo componen. En este último punto se buscará que las mejoras no se limiten sólo a la eficiencia energética de los edificios, sino también conseguir mejorar la relación que tienen con su entorno y hacer más agradable el uso y la percepción por parte de los usuarios.



I. CONTEXTUALIZACIÓN

1. Localización y contexto

La Ciudad Universitaria de Madrid es un campus en el que se localizan edificios e instalaciones pertenecientes a diversas épocas y universidades. ‘Situado al oeste de Madrid, hace ya casi un siglo que sería declarado campus universitario y casi siglo y medio que vería sus primeros edificios construidos. El campus fue declarado ciudad Universitaria por Real Decreto en Mayo de 1927 bajo el impulso Alfonso XIII con aprobación del gobierno, aunque para entonces ya había alguna facultad construida.’¹ Desde entonces, el campus ha ido aumentando y albergando nuevas facultades, edificios e instalaciones que se han ido desarrollando en diferentes contextos histórico-culturales hasta llegar a nuestros días. De este modo, en la actualidad la Ciudad Universitaria es un campus diverso compartido por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

1. Fernández de Sevilla Morales, Miguel. *La Ciudad Universitaria de Madrid, ochenta años de historia (1927-2007)*, Madrid: Edisofer, 2008, páginas 51-53

2. Fernández de Sevilla Morales, Miguel. *La Ciudad Universitaria de Madrid, ochenta años de historia (1927-2007)*, Madrid: Edisofer, 2008, páginas 31-34

3. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Compendio de las Normas Urbanísticas Plan General de Ordenación Urbana de Madrid 1997*, Madrid, 2009

‘Catalogado como conjunto histórico, se considera que los edificios, monumentos y entorno que lo compone forman un *Bien de Interés Cultural (BIC)*.’² Los elementos que lo integran poseen un valor histórico y cultural cuya importancia merece su preservación para entender el contexto histórico que ha acontecido a la ciudad de Madrid. ‘Es por eso que gran parte de los elementos poseen una *catalogación* que responde a distintos niveles según su valor y relevancia.’³ La protección limita las posibilidades de intervención, haciendo que en algunos casos no sea posible proponer apenas modificaciones y en otros se pueda intervenir con mayor facilidad.

La realización de este trabajo se centra exclusivamente en los edificios de la Ciudad Universitaria que pertenecen a la Universidad Politécnica de Madrid. Son analizados un total de 40 edificios repartidos por todo el campus, excluyendo aquellos de menores dimensiones como edificios

auxiliares, de instalaciones o invernaderos. Los edificios se agrupan por pertenencia, habiendo 10 grupos de edificios pertenecientes a facultades y 1 grupo de oficina pertenecientes al rectorado. La antigüedad y características son muy variadas, datando el más antiguo de 1860 y el más actual de 2005. Las diferentes características constructivas, funcionales, proyectuales y del entorno en que se emplazan hacen que el funcionamiento energético sea muy variado.

A continuación se muestran los 11 grupos de edificios y su contexto urbano, siendo característica la presencia de vegetación y el contexto “poco urbanizado” en relación a la ciudad de Madrid.



Figura 1. Localización de edificios



2. Certificación energética

El análisis comparativo de los edificios se ha llevado a cabo atendiendo a documentación existente sobre la eficiencia energética de los edificios, así como aspectos externos no contemplados en la documentación. Para ello se ha utilizado como base las certificaciones energéticas que la Universidad tiene realizadas desde mediados de 2015 y que, a priori, nos dan una estimación de la calidad energética de los edificios.

Las *certificaciones energéticas* son documentos que analizan el comportamiento energético de los edificios mediante la utilización de un programa informático. Se realizan atendiendo a cuatro aspectos fundamentales: emisiones globales de CO₂ (kgCO₂/m² año), demanda de calefacción (kWh/m² año), demanda de refrigeración (kWh/m² año) y consumo de energía primaria (kg CO₂/m² año). Estos datos se estiman introduciendo las características del edificio en el programa indicando sus dimensiones, características constructivas y de los cerramientos, número de plantas, sombreamientos sobre fachadas y calidad de las instalaciones. Si se conocen las *transmitancias* de las fachadas, cubiertas y carpinterías, o los datos reales de consumo de las instalaciones, podrán ser utilizados para tener unos resultados rigurosos y cercanos a la realidad. En caso de no saberlos, el programa estima datos según el año de construcción y características del inmueble. Los valores estimados podrán ser tomados como válidos pero no como rigurosos.

En base a estos aspectos, se establece una escala de calificación que es variable según el uso del edificio. ‘Los edificios de uso residencial presentan una escala distinta a aquellos destinados a otros usos (terciario) cuyas necesidades y exigencias son claramente diferentes. Las escalas surgen de plantear un indicador de la eficiencia, un escenario indicando con qué edificios se compara el que se analiza y finalmente los límites de las letras que representan la eficiencia del edificio.’⁴ Todo esto queda recogido en la siguiente tabla.

4. Zabalza, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edificios*, Zaragoza: Prensas Universitarias de Zara-

| Factores de análisis | Vivienda | Otros usos (terciario) |
|--------------------------|--|---|
| Indicador | Emisiones específicas anuales (kg de CO ₂ /año y m ² útiles) derivadas del consumo energético para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS). | Emisiones específicas anuales (kg de CO ₂ /año y m ² útiles) derivadas del consumo energético para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación. |
| Escenario de comparación | Parque edificatorio simulado representativo de los proyectos presentados en la misma localidad y el mismo tipo de vivienda (unifamiliar o vivienda en bloque) en el año 2006. | Edificio de referencia: edificio con la misma forma y orientación que cumple por la mínima el Código Técnico de la Edificación (CTE). |
| Límites de la escala | Valores absolutos dependiendo de población y tipo de vivienda (unifamiliar o en bloque). | Valores relativos en función del edificio de referencia. |

Tabla 1. Factores de análisis de las certificaciones energéticas

ZABALZA, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edifi-*

Una vez introducidos los datos necesarios en el programa ‘se crea en cada caso un edificio de referencia con la misma forma y orientación, que cumplirá con los mínimos establecidos por el Código Técnico de la Edificación.’⁵ Así, establece una escala mediante un indicador por letra que es la que nos indicará cómo de bien o mal funciona el edificio. El rango va de la letra A, que es el mejor resultado, a la E edificios de nueva construcción y G en los existentes siguiendo los siguientes parámetros:

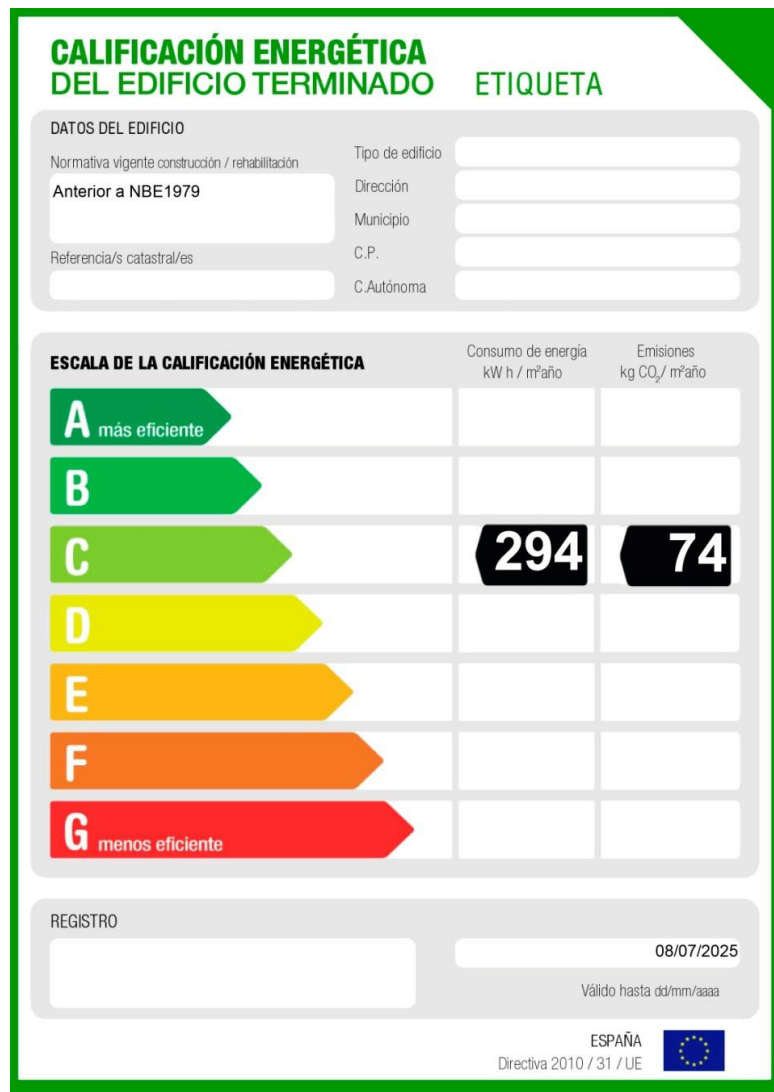
1. *A: exige mínimo una reducción del 60% de las emisiones de CO₂ con respecto al edificio de referencia.*
2. *B: habrá que tener una reducción de las emisiones de al menos un 35% con respecto al edificio de referencia.*
3. *D,C: se podría obtener una mejora en la letra, pasando de la D a la C habiendo una ligera mejoría respecto a las emisiones del edificio de referencia.*

5. Zabalza, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edificios*, Zaragoza: Pressas Universitarias de Zara-



4. *E,F: la mejoría de las emisiones respecto al edificio de referencia es mínima.*
5. *G: peor resultado que puede obtener un edificio existente*⁶

Aún así, los resultados reflejados según esta escala no muestran información acerca de la compacidad, características geométricas, superficies, entorno, orientación u otros aspectos que influyen en su consumo, emisiones y demanda como se expone en el apartado *Capítulo III. Análisis comparativo de las certificaciones energéticas*. Finalmente, se emite una etiqueta con los resultados generales e información básica del edificio analizado como la que se muestra a continuación.



6. Zabalza, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edificios*, Zaragoza: Prensas Universitarias de Zارا

Figura 2. Ejemplo de certificación energética



II. NIVEL DE RIGOR DE LA DOCUMENTACIÓN

Con fin de conocer el nivel de rigor de la documentación sobre la que se basa el trabajo, ha sido analizada y contrastada la información, datos y resultados de las certificaciones. La documentación consta de etiqueta energética, documento completo de certificación y archivo del programa informático utilizado. Analizándolos de forma exhaustiva puede determinarse si los documentos aportan una información veraz, válida y rigurosa o si, por el contrario, deben ser puestos en cuestión y su fiabilidad queda desestimada.

3. Documentación utilizada

Este análisis se ha realizado en paralelo al análisis comparativo de la eficiencia energética de los edificios, de forma que con carácter general ha permitido obtener una idea global, aunque insuficiente, de la calidad de la información. Para conocer con certeza su rigor se ha analizado la documentación del Pabellón Nuevo de Arquitectura. Los datos y resultados han sido contrastados con otra certificación energética del mismo facilitada por una profesora de la ETSAM. Esta certificación fue realizada durante el curso académico *Taller experimental 2: Certificación energética de edificios* con el consiguiente seguimiento de la profesora, por lo que su nivel de rigor se considera óptimo. Además, 'la información también ha sido contrastada con la auditoría energética realizada a los edificios de la Escuela de Arquitectura por un grupo de profesores e investigadores de la ETSAM en colaboración con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.'¹

1. Moya González, Luis; Luxán García de Diego, Margarita. *Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ETSAM*, Madrid, 2008, Tomo I, Tomo II

4. Análisis de nivel de rigor

Para llevar a cabo el análisis ha sido especialmente relevante la utilización del programa informático CE3X, que es la herramienta de análisis energético utilizada para la realización de las certificaciones. La comparativa sigue los parámetros del programa dividiendo la información en tres

partes. Una primera que trata de aspectos generales del edificio. Una segunda que analiza la envolvente térmica atendiendo a la composición de cada elemento y factores que influyen en su funcionamiento. En el tercer apartado se analiza la calidad de las instalaciones del edificio. Finalmente se contrastan los resultados de las etiquetas energéticas obtenidas en ambos casos.

Aspectos generales. En este apartado se analiza la normativa vigente, el año de construcción, el perfil de uso, la superficie, la zona climática, ventilación y demanda de agua caliente sanitaria (ACS).

Dado el año de construcción del edificio (1975), la normativa que se utiliza es anterior a 1981 y no puede ser definida por el programa. Este aspecto influye ya que las exigencias de cada normativa son distintas y menores conforme nos alejamos en el tiempo de la actualidad. El perfil de uso del edificio se ha establecido con una intensidad media durante un periodo de 16 horas. Aunque esta intensidad se ajuste adecuadamente a este edificio, es un dato que se ha tomado como genérico para todas las certificaciones realizadas independientemente de su uso, tamaño e intensidad de utilización. El dato ha sido comprobado en cada uno de los 40 edificios del campus durante la realización del *Capítulo III. Análisis comparativo de las certificaciones energéticas*. De este modo, se presupone que hay ciertos datos que han sido tomados como genéricos y no se ajustan de forma adecuada a cada caso en particular.

‘La definición de la zona climática varía según condiciones del clima que está el edificio, ya que en función de su localización, las temperaturas y necesidades serán diferentes.’^{2,3} La superficie y ventilación es similar en ambas certificaciones, aunque la certificación oficial no contempla ningún tipo de demanda de ACS. Se está presuponiendo por tanto que no habrá necesidad de agua caliente y las instalaciones no tendrán que trabajar, por lo que el consumo del edificio se verá reducido. Sin embargo, el edificio sí cuenta con uso de ACS estimado de 15.400 litros por día. Este

2. Neila González, Francisco Javier, y otros, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Madrid: Munilla-Lería, 2013, páginas 133-139

3. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE, Ahorro de energía*, Edición Junio de 2017, página 27

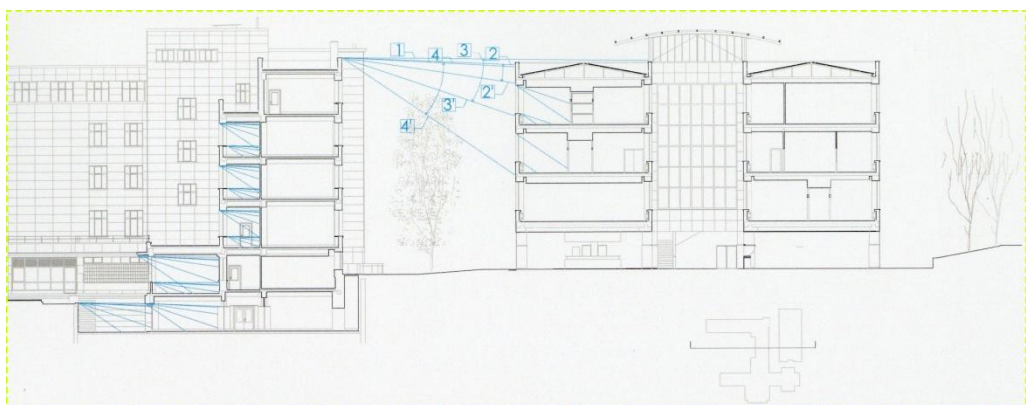


valor modifica el consumo de las instalaciones viéndose reducido si no se tiene en cuenta.

Envolvente térmica. Se analiza la composición de cada uno de los componentes de la envolvente para saber si funcionan de forma adecuada de cara a las pérdidas energéticas. El edificio cuenta con cuatro fachadas con orientación predominante Este-Oeste y un patio interior cubierto.

La certificación oficial utiliza valores estimados para la *transmitancia térmica* ($1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$) en base a la composición del muro dando un valor superior al obtenido mediante cálculo por la certificación de contraste ($1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$). Lo mismo ocurre con los valores de los huecos de fachada tanto en ventanas como en puertas, tomándolos además como elementos estancos pese a no serlos. Todos los valores que utiliza son estimados e iguales para todas las fachadas con independencia de su orientación. La certificación de contraste utiliza valores conocidos para muros y carpinterías, ya que se pueden obtener al conocer la composición de las fachadas. Además, los valores de la *transmitancia* se diferencian según la orientación de la fachada porque su comportamiento es distinto.

‘Las fachadas externas se ven afectadas por los elementos del entorno como edificios colindantes y vegetación’⁴, que producen sombras sobre la fachada sur y oeste como se muestra en la imagen.



4. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004

Figura 3. Sombreamiento en invierno sobre el edificio de *Arquitectura Pabellón Nuevo*. MOYA GONZÁLEZ, Luis; LUXÁN GARCÍA DE DIEGO, Margarita. *Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ETSAM*

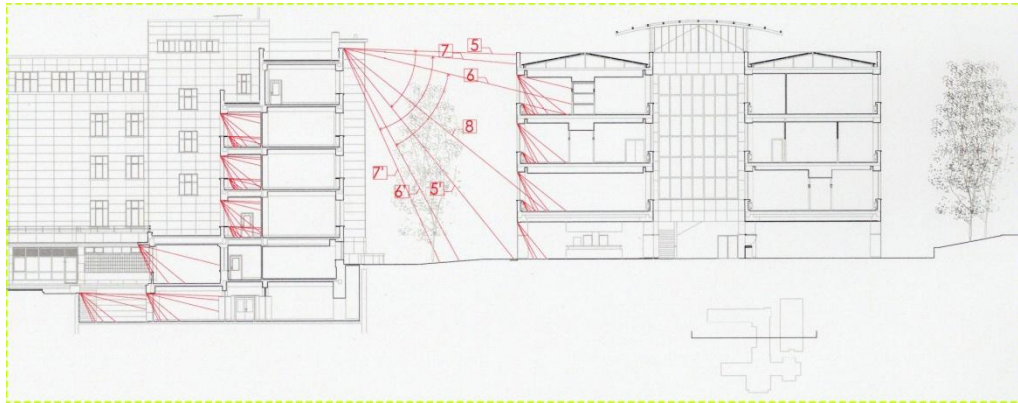


Figura 4. Sombreamiento en verano sobre el edificio de Arquitectura Pabellón Nuevo.

MOYA GONZÁLEZ, Luis; LUXÁN GARCÍA DE DIEGO, Margarita. Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ET-SAM

Hay que tener en cuenta las sombras que hay sobre el edificio porque la temperatura se va a ver modificada en función del soleamiento que reciba. El programa permite definir los parámetros de sombra que inciden sobre cada fachada aunque se ha realizado de forma muy general. Se ha definido un único parámetro de sombra para la fachada sur y otro para la oeste sin diferenciar por alturas e ignorando la sombra que produce la vegetación.

Este método se puede considerar como válido ya que han tomado la fachada entera, aunque no tan riguroso como el realizado en la certificación con la que se está contrastando. En esta última cada planta se analiza de manera independiente ya que la influencia solar es distinta, y se definen todos los parámetros de sombra que le afectan como se muestra en la siguiente comparativa del sombreado llevado a cabo en ambos casos.

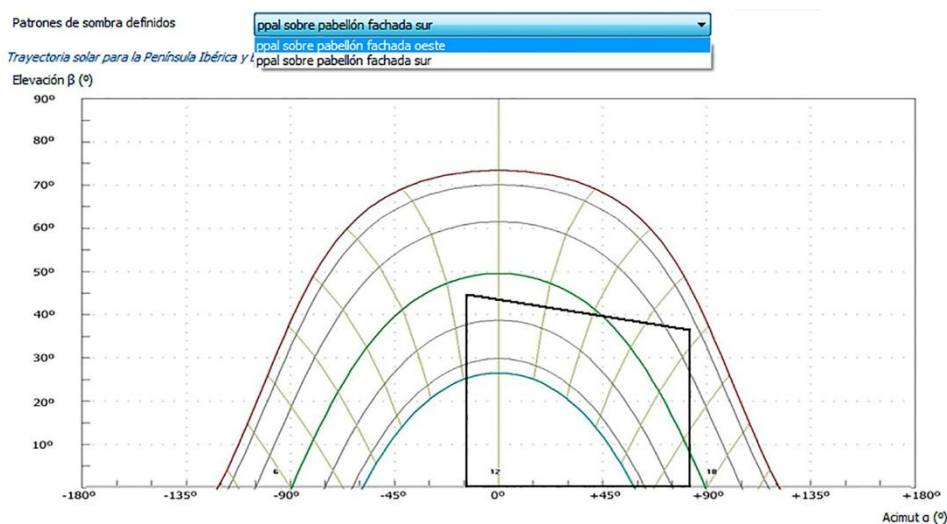


Figura 5. Patrón de sombras utilizado en la certificación energética oficial de la UPM

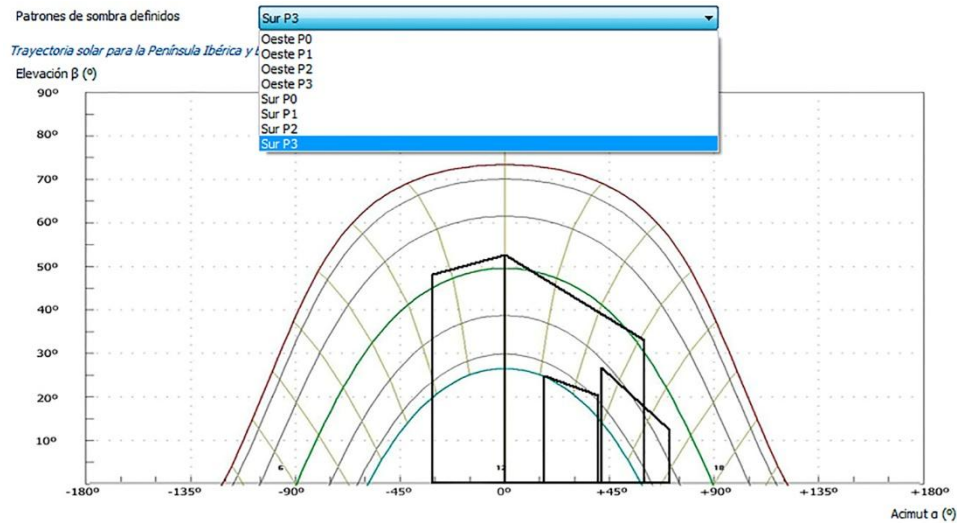


Figura 6. Patrón de sombras utilizado en la certificación energética de contraste

Finalmente, para el análisis de la cubierta una vez más se han tomado los datos como estimados pese a conocer su composición. La cubrición del patio interior se ha entendido además como una cubierta de vidrio de características similares a las de las ventanas pese a ser de policarbonato como se muestra en la Figura 7. La imagen ha sido obtenida de la visita que realizaron previa a la realización de la certificación, por lo que sí estaba en su conocimiento las características de la cubierta. La certificación con la que se ha contrastado sí contempla la cubierta realizada con policarbonato con unas propiedades conocidas y diferentes a las del vidrio. En ambos casos se producirá un efecto invernadero que afectará a las condiciones del interior del edificio⁵, pero una cubierta de policarbonato translúcido tiene menor transmisión de radiación solar hacia el patio.

5. Moya González, Luis; Luxán García de Diego, Margarita. *Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ETSAM, Madrid, 2008, Tomo I, Tomo II*



Figura 7. Cubierta de policarbonato del edificio de Arquitectura Pabellón Nuevo

Instalaciones. Para analizar el nivel de rigor de este apartado se comparan las características y datos utilizados para las instalaciones de calefacción, refrigeración, iluminación y ACS.

Los datos que se han tomado de cara a las instalaciones de iluminación son de nuevo valores estimados de forma genérica en vez de conocidos. Por lo tanto en vez de definir la potencia total de las luminarias del edificio, el programa establece una estimación en función del tipo de luminaria utilizada e *iluminancia* media establecida. El valor de la iluminancia media es el establecido por el Código Técnico de la Edificación según el uso del espacio. Sin embargo, no se puede generalizar y suponer que todo el edificio va a tener las mismas necesidades lumínicas en toda su superficie, ya que en él aparecen distintas zonas a diferenciar de cara a la estimación. Por ejemplo, ‘el CTE establece una iluminancia media de 100 luxes para áreas de circulación, cuyo valor dista mucho del definido para zonas de trabajo que está en 500 luxes.’^{6,7} Estas diferencias modifican el resultado final de la potencia que utiliza el edificio aunque el programa no permite diferenciar zonas a menos que se introduzcan las superficies e iluminancias de cada área por separado.

En este caso, el uso que se ha establecido al edificio es de aulas y laboratorios cuando su uso principal es administrativo. ‘En ambos casos el CTE exige la misma iluminancia media’^{8,9}, aunque en caso de no haber coincidido ese valor, los valores estimados por el programa no podrían ser en absolutos fiables. Por tanto si al realizar la certificación no se tiene claro el uso del edificio o el que se define es erróneo, la estimación de los valores va a alterar el consumo final y no se va a ajustar a la realidad.

En cuanto al estado de las instalaciones de calefacción y refrigeración se establece que tienen una antigüedad anterior a 1994 pese a haber sido renovadas en el año 2012, tres años antes de la realización de esta certificación. Este dato se repite en muchas de las certificaciones del resto de edificios, habiendo incluso incongruencias entre edificios que utilizan las mismas instalaciones y que han sido definidas con distintas característi-

6. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE*, 2017, páginas 40-48

7. Comité Europeo de Normalización, European Standard, Edición española consultada adaptada al castellano por AENOR: *Norma española UNE-EN 12464-1:2011*, Madrid: 2012

8. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE*, 2017, páginas 40-48

9. Comité Europeo de Normalización, European Standard, Edición española consultada adaptada al castellano por AENOR: *Norma española UNE-EN 12464-1:2011*. Madrid: 2012



cas en el programa. ‘Al contrastar también los datos que han utilizado para la potencia de las calderas con las fotografías que ellos mismos hicieron y la tesis mencionada’¹⁰, no coinciden todos los valores. En este caso puede tratarse de un error al pasar los datos, pero que como todos los factores mencionados anteriormente influye de cara al resultado final de la certificación.

Finalmente y como ha sido expuesto en los aspectos generales, no se contempla la demanda de ACS. Este aspecto no se corresponde con la realidad ya que sí hay acceso a agua caliente sanitaria en el edificio. La demanda definida en la certificación de contraste es de 15400 litros diarios, por lo que considerarlo nulo varía el consumo energético de las instalaciones y su resultado final.

Resultados etiqueta energética. Para poder determinar la validez de los resultados es necesario comparar las etiquetas y valores emitidos por el programa. Las diferencias mostradas en los puntos anteriores dan lugar a variaciones que modifiquen la estimación y hagan que no sea una aproximación cercana a la realidad. Unos resultados veraces obtenidos de una certificación rigurosa dan lugar a propuestas e intervenciones centradas en resolver los puntos críticos de manera eficaz. Cuánto más alejados se encuentren los resultados de la realidad, más estaremos pasando por alto los problemas que presenta el edificio y dónde se localizan las pérdidas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada caso tanto en valor como en indicador de letra.

10. Moya González, Luis; Luxán García de Diego, Margarita. *Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ETSAM*, Madrid, 2008, Tomo I, Tomo II

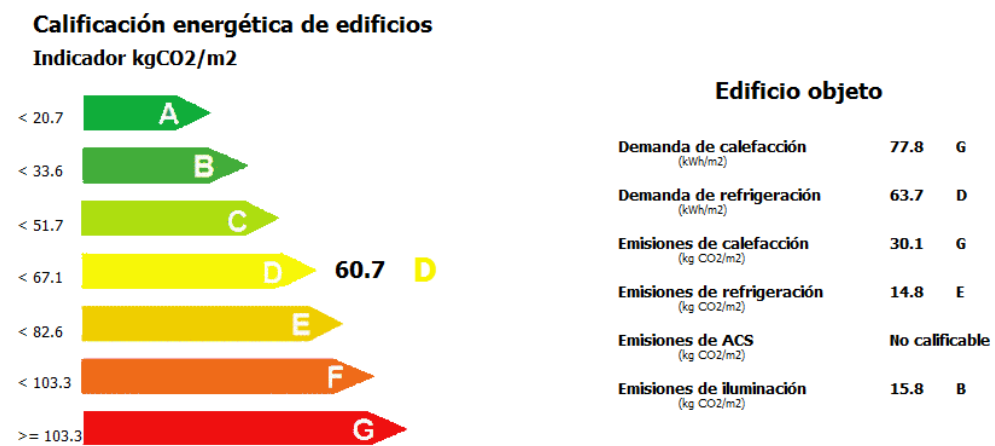


Figura 8. Resultado de la calificación energética oficial de la UPM

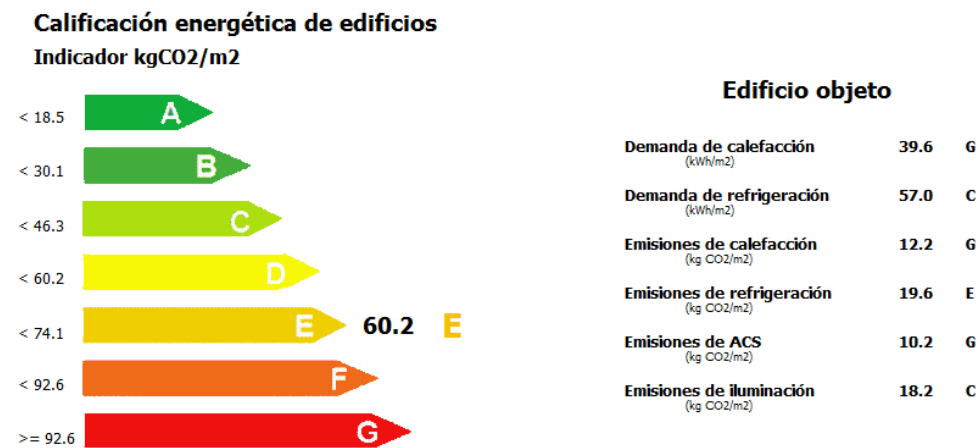


Figura 9. Resultado de la calificación energética de contraste

El rango que establece el programa para determinar la letra depende de todos los datos que hemos introducido. En este caso pese a haber un resultado numérico general bastante parecido, el resultado en letra es sin embargo distinto debido a los rangos que se han definido en cada caso. Es por eso que el rigor con que se realiza la certificación es de especial relevancia. El CTE establece en algunos aspectos exigencias en valor numérico y para otros el valor en letra, por lo que afecta de forma directa en que un edificio cumpla o no con la normativa.

La calidad de las instalaciones influye bastante en el indicador de letra y las emisiones del edificio. Los valores numéricos presentan alguna diferencia remarcable como el valor de demanda de calefacción, que es prácticamente el doble en la documentación oficial. Vinculado a la demanda se encuentran las emisiones por calefacción, que en este caso son tres veces mayor debido al tipo de instalación definida. El resto de valores se mantiene en un rango numérico similar aunque la letra también varía. Finalmente, el hecho de no contemplar uso de ACS ha sido el parámetro que más ha modificado el resultado final. Si incluyésemos la demanda de ACS, el resultado empeoraría tanto en la letra como en el valor numérico.



Calificación energética de edificios Indicador kgCO₂/m²

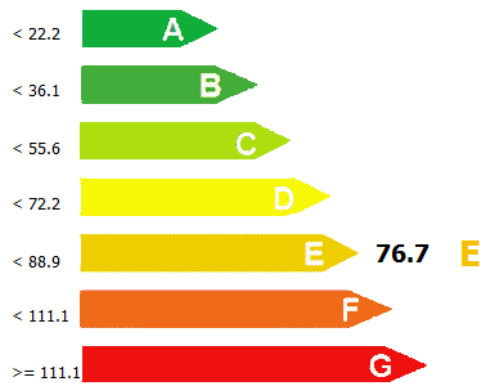


Figura 10. Resultado de la calificación energética oficial de la UPM incluyendo demanda de ACS

Edificio objeto

| | | |
|--|------|---|
| Demanda de calefacción (kWh/m ²) | 77.8 | G |
| Demanda de refrigeración (kWh/m ²) | 63.7 | D |
| Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²) | 30.1 | G |
| Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²) | 14.8 | E |
| Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²) | 16.0 | G |
| Emisiones de iluminación (kg CO ₂ /m ²) | 15.8 | B |

5. Conclusiones

En base a lo expuesto en el apartado anterior y para el caso analizado puede concluirse que el nivel de rigor de la certificación es insuficiente, ya que se han ignorado ciertos aspectos relevantes y se han tomado algunos datos erróneos. Si extrapolamos los resultados de la comparativa al resto de certificaciones, podría considerarse que la eficiencia energética de los edificios es todavía peor que lo obtenido. Además, al trabajar con el resto de certificaciones han aparecido algunas incongruencias ya mencionadas que cuestionan su fiabilidad. Sin embargo, en otros aspectos presentan mayor veracidad y detalle, por lo que las conclusiones no pueden, en principio, aplicarse al resto de certificaciones.

De este modo, el nivel de rigor es escaso para este caso en particular aunque los resultados sí podrían considerarse válidos en otros edificios. Para poder determinar la validez, veracidad y fiabilidad con mayor precisión sería necesario contrastar las certificaciones de alguno de los edificios que muestran incongruencias (ETSI Montes) y de aquellos que, a priori, muestran mayor rigor (ETSI Navales). La metodología a seguir sería la misma que la llevada a cabo en el apartado anterior. Sólo así podrá obtenerse una conclusión que determine la validez de la información con carácter general.



III. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS

6. Estudio general

El análisis comparativo tiene como principal objetivo obtener una idea global del funcionamiento energético de los edificios e instalaciones del campus. Para ello se analizan todos los edificios atendiendo a valores cuantitativos y de indicador por letra en base al consumo, la demanda de calefacción, refrigeración y las emisiones. Estos aspectos han sido explicados en el apartado 3. *Documentación utilizada*. La comparación de resultados permite conocer el estado general de las edificaciones y saber qué edificios son los que tienen mayor eficiencia y cuáles aquellos que requieren propuestas de intervención y mejora.

El contraste de resultados de cada apartado permite agrupar los edificios con comportamiento similar para localizar los parámetros que dan lugar a esas similitudes. Los grupos de edificios seleccionados serán analizados posteriormente para localizar los *puntos críticos*. Las propuestas de mejora irán vinculadas a los resultados que se obtengan para conseguir que los edificios se ajusten a las exigencias energéticas que están por venir. Por tanto, los valores e indicadores de letra se comparan con lo establecido por el Código Técnico de la Edificación para poder saber la situación que tienen los edificios en el marco actual, en que la tendencia es cada vez mayor a realizar *edificios de consumo casi nulo (ECCN)*.

7. Análisis cuantitativo de consumo, demanda y emisiones

Los valores numéricos estimados por las certificaciones nos permiten hacernos una idea de la cantidad de energía asociada al edificio en cada uno de los procesos mencionados. ‘La demanda es una estimación de la cantidad de energía necesaria para calentar o refrigerar los espacios del edificio y está directamente relacionada con la calidad constructiva y de diseño del inmueble.’¹ ‘Esta demanda junto a las de otros sistemas como el

1. Neila González, Francisco Javier, y otros, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Madrid: Munilla-Lería, 2013, páginas 341-347

de iluminación y el de ACS, conllevan un consumo de energía primaria que varía según la fuente de energía y el rendimiento las instalaciones.² La transformación del recurso en energía genera unas emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, por lo que cuánto más sostenible sea la fuente utilizada menor perjuicio se estará causando. Estos dos últimos aspectos dependen principalmente de la calidad de las instalaciones.

En la tabla que se muestra a continuación se puede ver cómo los resultados obtenidos son bastante dispares habiendo grandes diferencias en los valores mayores y menores. Podemos hablar de una mayor eficiencia cuanto menor sean los resultados de la tabla, sin embargo eso no significa que los valores marcados como mejores sean buenos. En color rojo se han marcado los cinco peores resultados de cada apartado, mientras que en verde se han marcado los cinco no tan malos.

| EDIFICIO | EMISIONES | | | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m2 año) |
|--------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m2 año) | DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2 año) | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2 año) | |
| Arquitectura Princ. | 74,37 | 63,88 | 31,99 | 293,68 |
| Arquitectura Pabellón | 100,42 | 56,15 | 82,82 | 399,01 |
| Edificación | 90,4 | 73,3 | 29,3 | 355,33 |
| Aeronáutica Princ. | 92,81 | 71,95 | 51,91 | 367,45 |
| Aeronáutica EUITA | 92,81 | 59,68 | 57,06 | 369,46 |
| Aeronáutica Biblioteca | 107,77 | 60,37 | 35,78 | 433,23 |
| Aeronáutica Aulario | 129,69 | 71,93 | 61,68 | 520,83 |
| Aeronáutica NaveMotores | 108,04 | 85,77 | 21,84 | 432,79 |
| Agrónomos Princ. | 88,74 | 69,04 | 34,53 | 352,9 |
| Agrónomos Aulario | 118,5 | 58,21 | 94,66 | 471,47 |
| Agrónomos Biblioteca | 119,94 | 72,37 | 55,61 | 481,65 |
| Agrónomos Motores e Ing. Rural | 115,54 | 116,28 | 38,55 | 454,12 |
| Agrícola Edif. A - Princ. | 92,46 | 92,7 | 42,24 | 364,02 |
| Agrícola Edif. B - Anexo | 100,22 | 95,22 | 44,85 | 394,38 |
| Agrícola Edif. C - Aulario | 86,13 | 76,51 | 36,23 | 356,37 |
| Agrícola Edif. D - Biblioteca | 86,08 | 76,86 | 22,66 | 356,33 |
| Camino | 67,84 | 72,47 | 32,99 | 285,37 |

2. Zabalza, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edificios*, Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2010, páginas 33-43

Tabla 2. Análisis comparativo de consumo, demanda y emisiones según valor cuantitativo

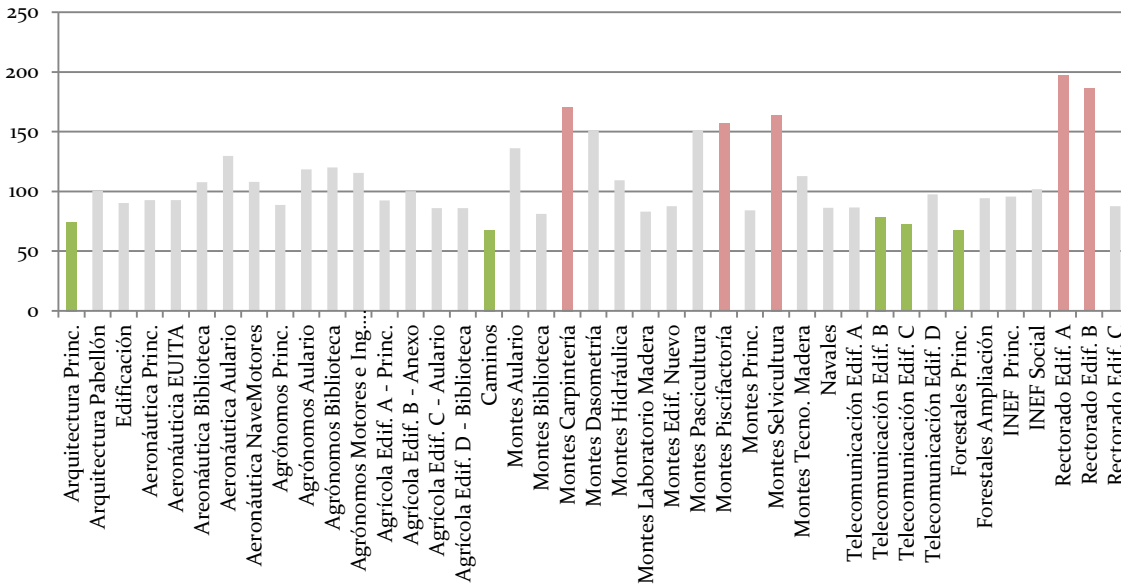


| EDIFICIO | EMISIONES | | | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m2 año) |
|---------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m2 año) | DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2 año) | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2 año) | |
| Montes Aulario | 136,21 | 86,29 | 23,3 | 526,75 |
| Montes Biblioteca | 81,08 | 127,26 | 68,35 | 317,62 |
| Montes Carpintería | 170,65 | 195,55 | 105,53 | 660,62 |
| Montes Dasometría | 150,59 | 219,19 | 41,08 | 578,76 |
| Montes Hidráulica | 109,38 | 144,48 | 30,72 | 422,66 |
| Montes Laboratorio Madera | 82,93 | 128,76 | 66,83 | 324,51 |
| Montes Edif. Nuevo | 87,65 | 90,6 | 28,05 | 343,27 |
| Montes Pascicultura | 151,39 | 224,97 | 36,63 | 593,26 |
| Montes Piscifactoría | 157,14 | 206,53 | 37,56 | 614,6 |
| Montes Princ. | 84,07 | 94,76 | 24,93 | 356,39 |
| Montes Selvicultura | 164,15 | 187,07 | 34,32 | 652,73 |
| Montes Tecno. Madera | 112,93 | 186,03 | 18,91 | 431,63 |
| Navales | 86,15 | 87,87 | 28,53 | 338,59 |
| Telecomunicación Edif. A | 86,65 | 83,95 | 34,92 | 341,38 |
| Telecomunicación Edif. B | 78,48 | 91,46 | 23,47 | 307,38 |
| Telecomunicación Edif. C | 72,14 | 56,63 | 31,38 | 285 |
| Telecomunicación Edif. D | 97,55 | 55,24 | 75,41 | 387,3 |
| Forestales Princ. | 67,13 | 92,12 | 20,36 | 264,24 |
| Forestales Ampliación | 94,34 | 64,04 | 43,6 | 371,81 |
| INEF Princ. | 95,55 | 70,22 | 58,53 | 399,88 |
| INEF Social | 101,92 | 87,5 | 46,45 | 432,06 |
| Rectorado Edif. A | 197,28 | 96,87 | 26,46 | 785,39 |
| Rectorado Edif. B | 186,29 | 93,7 | 42,45 | 713,44 |
| Rectorado Edif. C | 87,66 | 105,01 | 25,64 | 352,51 |

Tabla 2. Análisis comparativo de consumo, demanda y emisiones según valor cuantitativo

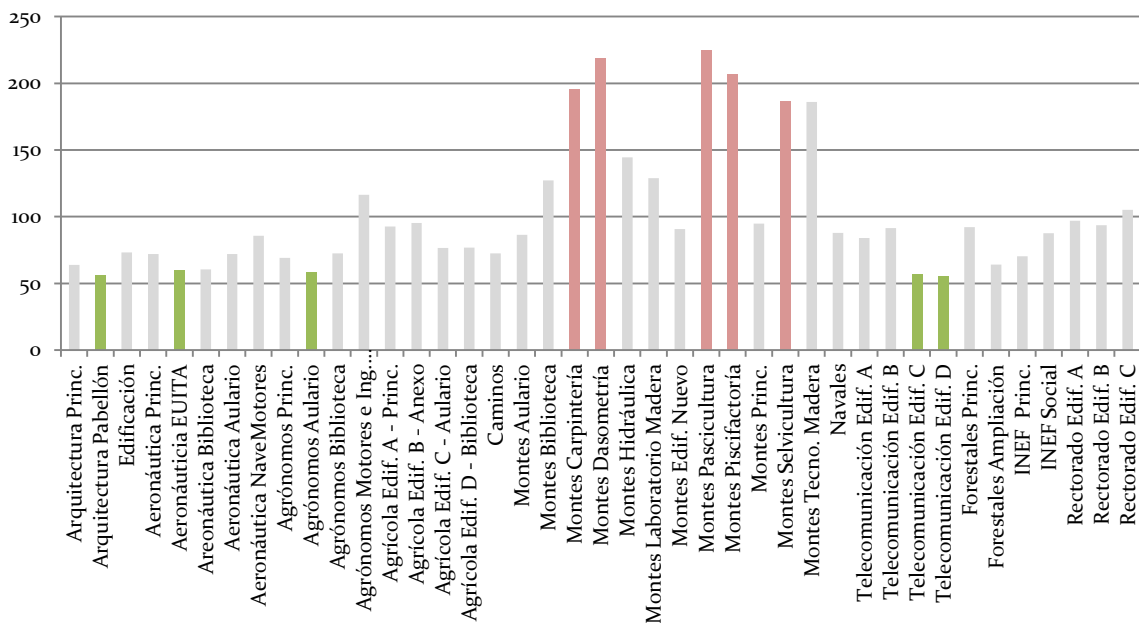
Si comparamos los valores mejores y peores de cada columna, se puede ver cómo en ningún caso la diferencia es menor a 3 veces el valor mínimo, llegando a una diferencia de hasta 5 veces en la demanda de refrigeración. Estas diferencias nos muestran el carácter tan dispar que hay en los edificios del campus, de modo que cada uno tiene una forma distinta de funcionar. Sin embargo es necesario comparar los resultados de manera gráfica para poder ver fácilmente el resultado general, por lo que en las gráficas se puede ver si los peores resultados son casos aislados o se repiten en la mayoría de edificios. Los valores marcados como mejores y peores en las tablas son los mismos que los marcados en las gráficas.

EMISIONES GLOBALES CO₂ (kgCO₂/m² año)



Gráfica 1. Análisis comparativo de emisiones globales de CO₂

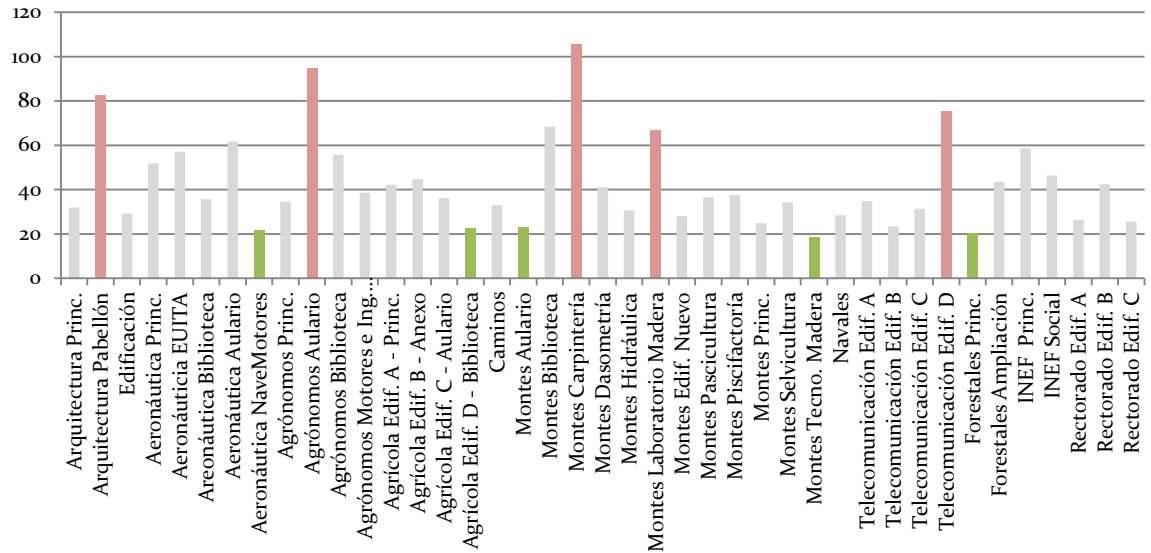
DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m² año)



Gráfica 2. Análisis comparativo de demanda de calefacción

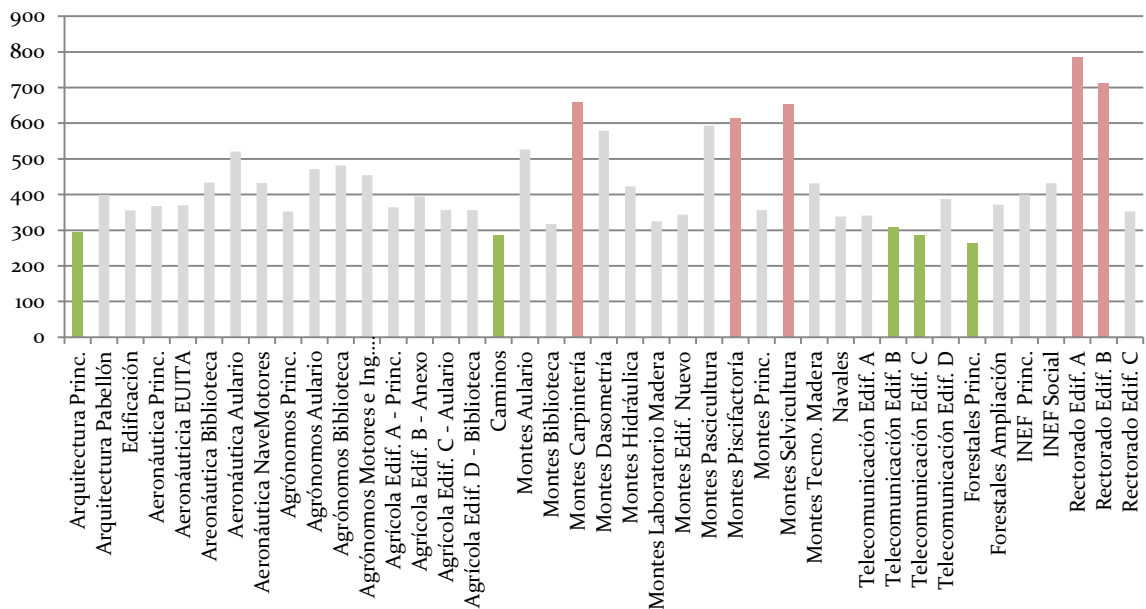


DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m² año)



Gráfica 3. Análisis comparativo de demanda de refrigeración

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m² año)



Gráfica 4. Análisis comparativo de consumo de energía primaria

Las emisiones globales de CO₂ se muestran generalmente en la media entre los valores máximos y mínimos. Aunque los resultados generales se encuentren más cercanos a los valores mínimos no podemos hablar de casos aislados en los peores resultados. La diferencia de resultados en la demanda de calefacción sí resulta más notable que en la comparativa anterior, por lo que aunque haya algún caso más que los cinco mencionados de valores elevados, el promedio se encuentra más cercano a los valores mínimos. La demanda de refrigeración muestra una gran diferencia entre los mejores y peores resultados. En este caso el promedio de la demanda sí se encuentra alejado de los valores más elevados, por lo que podemos hablar de casos concretos. Finalmente, los valores del consumo de energía primaria son bastante elevados por lo general, por lo que habrá que localizar los motivos de estos resultados. Este aspecto es el más relevante de los cuatro ya que es el que nos indica la cantidad de energía que se consume.

Para poder verificar con seguridad la información de las gráficas, se ha contrastado los máximos y mínimos con los valores medios de cada apartado. De este modo se aprecia cuantitativamente el funcionamiento general de los edificios y las tendencias obtenidas en las gráficas.

| PROMEDIO ANÁLISIS CUANTITATIVO | EMISIONES GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año) | DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m ² año) | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m ² año) | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m ² año) |
|--------------------------------|--|---|---|---|
| PROMEDIO | 107,58 | 101,19 | 42,63 | 426,58 |

Tabla 3. Valores medios de consumo, demanda y emisiones según valor cuantitativo

8. Análisis de calificación según el indicador por letra

El indicador por letra nos da información acerca de la calidad del edificio para cada uno de los aspectos analizados en el apartado anterior. De este modo podemos saber si las cantidades que aparecen son adecuadas para las características de cada edificio o si la eficiencia energética debería ser mejor. El indicador por letra incluye factores no tenidos en cuenta en el



análisis numérico como el uso, la superficie del edificio. Por tanto ocurre que un edificio pequeño, cuyo valor numérico de consumo sea bajo en relación a otro, puede sin embargo tener un resultado pésimo obteniendo la peor letra. Esto se debe a que el valor numérico no incluye los factores mencionados, por lo que podría ser que los valores elevados de las tablas se correspondan con un edificio de grandes dimensiones pero que sí sea eficiente y viceversa.

La comparativa del indicador de letra permite obtener una idea general de la forma en que funcionan los edificios y compararlos con el marco normativo actual para saber en qué situación se encuentran. El criterio de colores utilizado es el mismo que en el apartado anterior, solo que en este caso se marca con color rojo todos los peores y con verde los mejores dado que una misma letra se puede repetir en muchos edificios. Los resultados marcados con un asterisco se corresponden con los mejores resultados del análisis anterior y los marcados con dos asteriscos se corresponden con los peores para ver si hay coincidencias entre los valores y el indicador de letra.

| EDIFICIO | EMISIONES GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año) | DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m ² año) | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m ² año) | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m ² año) |
|--------------------------------|--|---|---|---|
| Arquitectura Princ. | C* | G | C | C* |
| Arquitectura Pabellón | D | G* | E** | D |
| Edificación | C | G | B | C |
| Aeronáutica Princ. | D | G | D | D |
| Aeronáutica EUITA | D | F* | D | D |
| Aeronáutica Biblioteca | D | E | D | D |
| Aeronáutica Aulario | E | E | E | E |
| Aeronáutica NaveMotores | E | F | C* | E |
| Agrónomos Princ. | C | G | C | C |
| Agrónomos Aulario | D | F* | F** | D |
| Agrónomos Biblioteca | E | G | D | E |
| Agrónomos Motores e Ing. Rural | D | G | C | D |
| Agrícola Edif. A - Princ. | C | G | C | C |

Tabla 4. Análisis comparativo de consumo, demanda y emisiones según indicador por letra

| EDIFICIO | EMISIONES GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año) | DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m ² año) | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m ² año) | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m ² año) |
|-------------------------------|--|---|---|---|
| Agrícola Edif. B - Anexo | C | G | C | C |
| Agrícola Edif. C - Aulario | C | G | C | C |
| Agrícola Edif. D - Biblioteca | C | G | C* | C |
| Caminos | C* | G | C | C* |
| Montes Aulario | D | G | B* | C |
| Montes Biblioteca | D | G | G | D |
| Montes Carpintería | D** | G** | C** | D** |
| Montes Dasometría | E | G** | C | D |
| Montes Hidráulica | D | G | C | D |
| Montes Laboratorio Madera | D | G | G** | D |
| Montes Edif. Nuevo | C | G | B | C |
| Montes Pascicultura | E | G** | C | D |
| Montes Piscifactoría | E** | G** | C | E** |
| Montes Princ. | C | G | C | C |
| Montes Selvicultura | F** | G** | C | F** |
| Montes Tecno. Madera | D | F | C* | D |
| Navales | C | G | C | C |
| Telecomunicación Edif. A | C | G | C | C |
| Telecomunicación Edif. B | C* | G | C | C* |
| Telecomunicación Edif. C | C* | G* | C | C* |
| Telecomunicación Edif. D | D | F* | D** | D |
| Forestales Princ. | G* | F | C* | G* |
| Forestales Ampliación | C | G | C | C |
| INEF Princ. | D | G | D | D |
| INEF Social | D | G | C | D |
| Rectorado Edif. A | G** | G | C | G** |
| Rectorado Edif. B | D** | F | F | D** |
| Rectorado Edif. C | G | E | D | G |

Tabla 4. Análisis comparativo de consumo, demanda y emisiones según indicador por letra

El resultado general es bastante negativo para la demanda de calefacción, que destaca notablemente por tener la peor letra en la mayoría de los edificios. Esto indica una clara necesidad de intervenir sobre la envolvente térmica para mejorar su eficiencia. El resto de resultados de los otros comportamientos son mas intermedios aunque distan bastante de la A, que es el resultado al que deberían acercarse. Para poder contrastar



los resultados de la tabla se muestra a continuación la moda y se compara con los mejores resultados de cada caso.

Tabla 5. Valores de interés del análisis comparativo de consumo, demanda y emisiones según indicador por letra

| DATOS DE INTERÉS ANÁLISIS POR LETRA | EMISIONES GLOBALES CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año) | DEMANDA DE CALEFAC- CIÓN (kWh/m ² año) | DEMANDA DE REFRIGE- RACIÓN (kWh/m ² año) | CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m ² año) |
|--|--|--|--|--|
| MODA | D (16) | G (31) | C (23) | D (17) |
| MEJORES RESULTADOS | C | E | B | C |

El resultado de las modas se encuentra bastante alejado del mejor valor de la escala, por lo que podemos afirmar que el funcionamiento general es malo. Además, si vemos los mejores resultados la B aparece únicamente en tres casos aislados llegando a haber incluso una E como mejor resultado para demanda de calefacción. A la vista de estos resultados se hace evidente la necesidad de intervenir sobre los edificios para mejorar sus características. Aunque el indicador de letra dependa principalmente de la calidad de instalaciones, es necesario mejorar las envolventes ya que simplemente cambiando las instalaciones se estaría ignorando un problema que acompañará a los edificios durante toda su vida útil.

‘El CTE establece actualmente que los edificios con un uso distinto al residencial (terciarios) deberán tener una calificación energética de B,³ por lo que ninguno de los edificios del campus se acerca lo más mínimo a cumplir con las exigencias actuales. Sin embargo, la normativa tiende cada vez a ser más exigente por lo que las intervenciones deberán buscar no sólo cumplir con lo establecido por el CTE, sino adecuarse a las exigencias medioambientales más restrictivas obteniendo una A en cada apartado y el mínimo valor numérico posible. Además, ‘las intervenciones que se lleven a cabo deben contemplar la capacidad de adaptación al entorno para un clima de verano e invierno y adecuarse a los cambios climáticos que está sufriendo el lugar en que se emplazan.’⁴

El marco normativo actual tiene unas exigencias que resultan insuficientes si queremos una universidad y unas ciudades más sostenibles. Se

3. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE*, 2017

4. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004

prevé que a finales de 2018 entre en vigor una normativa para edificios públicos más restrictiva que ayude a mejorar el comportamiento energético de los edificios y su impacto en el entorno. Para edificios privados la normativa será aplicable a partir de finales de 2020. Sin embargo, mientras tanto pueden tomarse como referencia otros marcos como el estándar *Passivhaus*, *BREEAM* o similar, cuya aplicación se está tomando como referencia en otros países. El objetivo es conseguir que los edificios tengan un buen comportamiento energético e incluyan *técnicas bioclimáticas* para conseguir que sean *de consumo casi nulo*. La inclusión de estas técnicas hará que el edificio se adapte al medio de forma pasiva y tenga menor impacto sobre su entorno.

9. Elección de edificios

Los edificios seleccionados para analizar los factores que dan lugar al comportamiento energético y la localización de puntos críticos se obtienen al contrastar los mejores y peores resultados de los dos análisis anteriores. Al cruzar los datos se puede ver si coinciden los resultados y saber qué edificios requieren intervención de forma prioritaria. Las tablas marcan en rojo los edificios que coinciden como peores en ambos casos, que serán los que peor comportamiento tengan. En verde se muestran los edificios que coinciden como mejores y cuyo análisis posterior determinará qué factores están dando lugar a una eficiencia mayor.

| RESULTADOS POR DATOS CUANTITATIVOS | Edificios |
|------------------------------------|---|
| Mejores resultados | Forestales Princ. Telecomunicación Edif. C Caminos Arquitectura Princ. Telecomunicación Edif. B |
| Peores resultados | Montes Carpintería Montes Piscifactoría Montes Selvicultura Rectorado Edif. A Rectorado Edif. B |

Tabla 6. Edificios seleccionados por datos cuantitativos



| RESULTADOS POR INDICADOR DE LETRA | Edificios |
|-----------------------------------|---|
| Mejores resultados | Edificación Montes Edif. Nuevo Telecomunicación Edif. C Caminos Arquitectura Princ. Telecomunicación Edif. B |
| Peores resultados | Montes Selvicultura Rectorado Edif. A Rectorado Edif. C Forestales Princ. |

Tabla 7. Edificios seleccionados por indicador de letra

Los edificios con mejor comportamiento, ordenados gradualmente de mejor a peor son los siguientes:

6. ETSI Telecomunicación Edificio C
7. ETSI Caminos, canales y puertos
8. ETS Arquitectura Edificio Principal
9. ETSI Telecomunicación Edificio B

Por otra parte, los edificios con peor resultado ordenados de peor a mejor:

10. ETSI Montes Edificio de Selvicultura
11. Rectorado Edificio A

El edificio con peor resultado es el de Selvicultura de ETSI Montes, que será el seleccionado para realizar una propuesta de mejoras como caso práctico en el apartado 15 *Caso práctico de propuesta de mejora*. Sin embargo, de cara a la localización de puntos críticos es necesario utilizar todos los edificios que aparecen en las tablas. Si utilizásemos sólo los que coinciden en ambos casos, las conclusiones derivadas serían insuficientes y en muchos casos incluso sería imposible llegar a una conclusión por falta de datos.



IV. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

10. Análisis comparativo del funcionamiento energético de edificios

El análisis comparativo tiene como principal objetivo localizar los puntos críticos de los edificios y los motivos de su comportamiento energético. Al analizarlos en detalle se puede entender cuáles son los motivos por los que funcionan como lo hacen y de qué manera se puede proceder para mejorarlos. Como las certificaciones no contemplan todos los aspectos que influyen, habrá que saber cuáles se están ignorando y pueden tener relevancia en el resultado final. Se analizan factores tanto generales como particulares, sean propios del edificio o externos. Los factores que den lugar a un mejor funcionamiento no excluyen al edificio de necesitar mejoras ni significa que estos aspectos funcionen de manera óptima. Todo aspecto positivo es mejorable aunque su prioridad sea menor dados los resultados. Los aspectos que se analizan son los siguientes.

3. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004

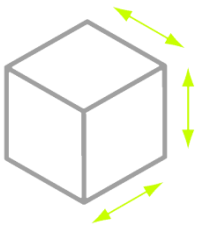


Figura 11. *Parámetros de localización de puntos críticos, dimensión y forma*

Dimensión y forma. Las características geométricas se analizan según las dimensiones del edificio en tamaño y superficie, la forma, compacidad y el número de plantas total y bajo rasante. 'El comportamiento energético mejora cuanto más compacto y grande sea un edificio, ya que las superficies de contacto con el exterior se disminuyen y es más fácil mantener una temperatura adecuada. En invierno permite que se aproveche el calor generado ya que se transmite por radiación de un espacio a otro, mientras que en verano cuánta menor sea la superficie exterior, menor exposición habrá a la radiación solar y temperatura externa.'¹

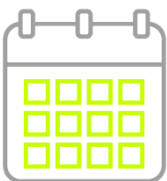


Figura 12. *Parámetros de localización de puntos críticos, año de construcción y uso*

Año de construcción y uso. El año de construcción influye porque las exigencias normativas son distintas, de modo que cuánto más antiguo sea el edificio, menores exigencias habrá tenido que cumplir. Por otra parte, el uso es un factor claramente determinante ya que según el tipo de actividad que se realice en el edificio, las condiciones que habrá que mantener y necesidades energéticas serán distintas.

Entorno y orientación. El entorno en que se emplaza mejora con la presencia de vegetación. ‘Un entorno urbano tratado con materiales que tengan un *calor específico* y *albedo* elevado, pueden dar lugar a la generación de *islas de calor*, de forma que se aumenta considerablemente la temperatura del entorno.’⁴ La orientación principal de las fachadas hace que la incidencia solar genere unas condiciones internas muy distintas. La distribución interior y los huecos en fachada deben disponerse de forma adecuada a la orientación que mejor se ajuste para evitar pérdidas.

Envolvente térmica. La envolvente térmica es determinante para el buen funcionamiento del edificio. Se analiza la composición de las fachadas para saber cómo está influyendo tanto el interior como el exterior. El principal factor a conocer es el aislamiento térmico, ya que por el año de construcción se prevé que muchos de los edificios no tengan aislante. ‘También se tiene en cuenta el material y color del acabado para saber si reflejan la radiación o la absorben y transmiten al interior.’⁵ Por último, se analiza la calidad de las carpinterías, ya que si no son tratadas de forma adecuada pueden aparecer *puentes térmicos*. La cubierta se analiza según su composición y forma. También es bastante relevante la presencia de aislamiento térmico y según sea plana o inclinada la acumulación de calor será distinta.

Instalaciones. Por último se analiza la calidad de las instalaciones, ya que es un aspecto fundamental para el resultado de las certificaciones. La antigüedad de los sistemas y condiciones en que se encuentran hacen que disminuya el rendimiento cuánto más antiguos sean. Además, la cantidad de energía primaria que se consume y las emisiones emitidas varían según la fuente de energía que se utilice.

Para poder localizar los puntos críticos se analizan los mejores y peores edificios a nivel general, pero también los obtenidos en el análisis de emisiones, consumo y demanda de calefacción y refrigeración. Así se puede conocer qué falla en cada caso y cómo habrá que proceder con las propuestas.

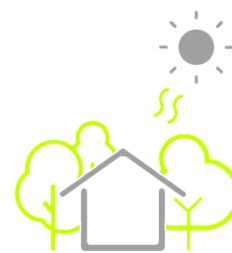


Figura 13. Parámetros de localización de puntos críticos, entorno y orientación



Figura 14. Parámetros de localización de puntos críticos, envolvente térmica

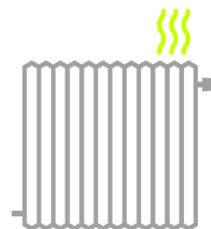


Figura 15. Parámetros de localización de puntos críticos, instalaciones

4. Neila González, Francisco Javier, y otros, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Madrid: Munilla-Lería, 2013

5. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004



Ver tablas de análisis de factores en el anexo.

11. Contraste de resultados

Los edificios con menor eficiencia energética son edificios generalmente pequeños, con pocas alturas y sin plantas bajo rasante. El funcionamiento mejora cuanto mayor es el tamaño de los edificios, por lo que las propuestas deberán relacionarlos mediante alguna ampliación exterior. Además, dado que los edificios más eficientes son compactos, la volumetría de las ampliaciones debe ser compacta, sencilla y en altura. Este desarrollo debe llevarse a cabo también bajo rasante. Los edificios ya construidos tendrán que hacer mejor uso de las ‘plantas bajo rasante para aprovechar la energía de la tierra, cuya estabilidad a lo largo del año es mayor.’⁶

La orientación que se repite como mejor es la Norte-Sur, mientras que la Este-Oeste es la principal en los edificios con peores resultados. Podría plantearse como mejora una redistribución de huecos en fachadas según su orientación o buscar ‘sistemas pasivos que mejoren el comportamiento de los existentes.’⁷ Las ampliaciones deberán favorecer la mejor orientación y hacer un tratamiento en fachada acorde a la orientación tanto en diseño como en calidad constructiva. Esto implica que el tratamiento que se le dé a cada elemento de la envolvente debe ser distinto para optimizar las pérdidas energéticas. Habrá que prestar especial atención a los puntos habituales de pérdidas (*puentes térmicos*).

6. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004

7. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004

El uso del edificio ha resultado ser un factor determinante de cara al consumo y emisiones, de forma que los edificios de uso docente tienen menor consumo energético que los de oficinas o investigación. Los edificios de uso mixto también han mostrado un buen comportamiento por lo que debería plantearse una redistribución de espacios para aprovechar mejor la energía. Los edificios pequeños podrían tener asociado un uso docente mientras que en los de mayor tamaño habría que buscar la forma de hacer compatible la mezcla de usos. Si a los edificios con peor com-

portamiento se les asocia un uso con menor demanda habrá mayor control del consumo, mientras que en los mixtos se puede aprovechar el calor generado en los laboratorios para calefactar otros espacios.

Siguiendo el criterio establecido en las tablas, en los edificios con existencia de aislamiento desconocida será considerado inexistente. Su inclusión mejora de forma notable el comportamiento del edificio, especialmente la demanda de calefacción como se puede ver en las tablas. Cualquier intervención que lo permita deberá incluir de forma prioritaria el aislamiento térmico que requiera cada elemento de la envolvente. El material y color del acabado también influyen, por lo que habrá que utilizar acabados pétreos de color claro para evitar la absorción de radiación solar. Finalmente, las carpinterías deberán ser sustituidas por otra de menor transmitancia térmica, sean dobles bajo emisivas o triples, ya que en los peores resultados se repite la carpintería simple sin rotura de puente térmico.

Aunque la forma de la cubierta que aparezca como mejor sea plana, el factor realmente influyente es la ausencia de aislamiento térmico en la mayoría de los casos. Por tanto se puede considerar que la forma influye pero no es el factor más relevante. Habrá que incluir aislamiento en cubierta en aquellos casos que no lo haya o que su existencia sea desconocida.

La mayoría de edificios con peor funcionamiento tienen únicamente sistemas de producción de calor, por lo que habrá que ver si necesitan además sistemas de refrigeración. Su inclusión implicaría una mejora en la demanda de refrigeración pero también aumentaría el consumo y las emisiones, por lo que se trata de un factor no determinante. El principal factor que sí que influye es la antigüedad y estado del equipo, que en la mayoría de casos es anterior a 1994 y con mal aislamiento. Considerándolo cierto deben ser renovadas para mejorar su rendimiento. Sin embargo este dato no se considera fiable debido a las incongruencias que se han expuesto en el apartado 4. Análisis de nivel de rigor, ya que edificios que



utilizan las mismas instalaciones tienen definidos datos distintos en cada uno de ellos. La fuente de energía es la misma para casi todos los edificios (electricidad y gasóleo), por lo que lo único que se puede determinar es la necesidad de un cambio de fuente de energía por otras menos contaminantes y sostenibles.

Por último, el entorno tiene gran influencia en la forma en que funcionan los edificios y las necesidades energéticas asociadas. Los resultados de refrigeración y calefacción muestran que la demanda de refrigeración se reduce cuando en el entorno del edificio hay vegetación abundante, mientras que la de calefacción es menor cuando el entorno es más urbano. Por tanto, las actuaciones que se lleven a cabo deberán mejorar la calidad del entorno incluyendo vegetación y haciendo un correcto tratamiento de materiales.



V. PROPUESTA DE MEJORAS

La arquitectura ha permanecido en muchos casos ajena al medio en que se encuentra, por lo que los problemas derivados de la forma que tenemos de habitar son cada vez más notables y conllevan mayores consecuencias. Lejos de adecuarse al medio y promover su mejora, los edificios y ciudades han seguido una tendencia de internacionalización que ha dejado de lado las características locales y climáticas. La arquitectura en la actualidad debe recuperar la adaptación al medio que planteaba la *arquitectura vernacular*, integrarse en el entorno sin destruir su ecosistema y funcionar de forma conjunta con el medioambiente.

Como *Timothy Morton* expone mediante su obra, ‘la ecología está cambiando irreversiblemente a peor ante la actitud pasiva de los humanos, que con una posición antropocéntrica buscamos diferenciarnos del medio como si fuera un paisaje del que no formamos parte. Hacemos uso de nuestro entorno sin atender a sus necesidades, de forma que el calentamiento global está generando cambios perjudiciales que se pueden sentir, aunque no se puedan ver.’¹ En este marco de cambios, la arquitectura debe ser capaz de adaptarse a las condiciones climáticas del lugar en que se emplaza y prever las que están por llegar. La eficiencia del edificio debe ser máxima y su perjuicio al entorno debe ser mínimo. Para ello, las mejoras que deben llevarse a cabo en los edificios deben ir más allá de las intervenciones derivadas de los análisis y hacer uso de *técnicas bioclimáticas* que consigan un aprovechamiento de la energía adaptado a cada caso en particular.

1. Morton, Timothy. *Zero Landscapes in the times of hyperobjects*, Graz: Graz Architectural Magazine, 2007, páginas 80-87

2. Fernández de Sevilla Morales, Miguel. *La Ciudad Universitaria de Madrid, ochenta años de historia (1927-2007)*, Madrid: Edisofer, 2008, páginas 31-34

3. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Listado del catálogo de edificios protegidos*, Madrid, Actualización de 22 de Diciembre de 2016

12. Estudio de la protección patrimonial. Edificios catalogados

‘El campus de Ciudad Universitaria en su conjunto es considerado un *Bien de Interés Cultural (BIC)*,² por lo que cualquier tipo de intervención que se quiera llevar a cabo, deberá ser revisada y aceptada por la comisión de patrimonio. Sin embargo, ‘gran parte de los edificios tienen además otro tipo de catalogación a nivel particular’³ que hace que las limi

taciones sean mayores. Para los edificios catalogados con el máximo nivel de protección, la única intervención posible son las centradas en su mantenimiento y rehabilitación, de forma que las posibilidades de mejora son bastante reducidas. Para edificios no catalogados o con el mínimo nivel de catalogación, se pueden aplicar las intervenciones derivadas de los análisis y otras adicionales que busquen mejorar la eficiencia energética. En cualquier caso, las propuestas siguen quedando sujetas a su aprobación por ser considerados BIC.

Según lo establecido por la Normativa Urbanística del Plan General de 1997 (NNUU PGOUM 97), los edificios catalogados se clasificarán en tres niveles de protección por relevancia. ‘Los dos primeros niveles de protección establecen limitaciones al edificio en su conjunto, mientras que el tercer nivel sólo protege aquellas partes que tienen valor’⁴, por lo que las limitaciones son menores.

Nivel 1. Edificios protegidos de forma global con fin de mantener sus características arquitectónicas y constructivas, volúmenes, formas y elementos decorativos. En atención a sus valores intrínsecos, de posición y forma, se dividen en dos grados:

- Singular: En el que se incluyen aquellos edificios que pueden considerarse, en todo o en parte, como elementos relevantes en la historia del arte y la arquitectura española o madrileña, o constituyen un hito dentro de la trama urbana de la ciudad.

- Integral: Con el que se protegen los edificios de gran calidad, que presentan importantes valores arquitectónicos y ambientales.

Nivel 2. Edificios cuyas características constructivas y volumétricas son igualmente del mayor interés, aunque la existencia en su interior de zonas de menor valor arquitectónico hacen que pueda ser autorizado un régimen de obras más amplio que el correspondiente al nivel 1. Se distinguen dos grados:

4. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Compendio de las Normas Urbanísticas Plan General de Ordenación Urbana de Madrid 1997*, Madrid, 2009



- *Estructural: Con valores suficientes para merecer la conservación, tanto de su volumetría como de sus elementos arquitectónicos más destacados.*

- *Volumétrico: Su mayor valor es su integración en el conjunto superior formado por el paisaje y la trama urbana, pudiendo tener además elementos arquitectónicos dignos de conservación.*

Nivel 3. En este caso la protección no se extiende a la totalidad del edificio, sino solo a determinados valores. Se dividen en dos grados:

- *Parcial: protege aquellos elementos del edificio que lo caracterizan y sirven de referencia para comprender su época, estilo y función.*

- *Ambiental: se protegen los valores de la fachada del edificio por su integración en el ambiente de la ciudad, como elemento que contribuye a la comprensión global del paisaje urbano, pero no precisa necesariamente el mantenimiento físico de la misma.*⁵

5. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Compendio de las Normas Urbanísticas Plan General de Ordenación Urbana de Madrid 1997*, Madrid, 2009

6. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Listado del catálogo de edificios protegidos*, Madrid, Actualización de 22 de Diciembre de 2016

7. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid, *Sistema de información geográfica de urbanismo*, 2018

Teniendo en cuenta las definiciones de la normativa sobre cada tipo de protección, se ha procedido a conocer la catalogación que recae a nivel particular sobre cada uno de los edificios. Para ello ha sido necesario consultar el listado de edificios catalogados de la Comunidad de Madrid, el Plano de Análisis de la Edificación y contrastar la información con las modificaciones de 2016.⁶ Estas modificaciones han supuesto la liberación de bastantes edificios. Sin embargo, dada la falta de actualización de algunos documentos consultados, los edificios marcados en rojo mantienen la protección establecida por el Plan General de 1997 (PGOUM97), quedando sujetos a la actualización pertinente.

Tabla 8. *Catalogación de edificios según su valor.*

ÁREA DE GOBIERNO DE URBANISMO Y VIVIENDA, Ayuntamiento de Madrid, *Listado del catálogo de edificios protegidos*

| EDIFICIO | GRADO DE CATALOGACIÓN AC-TUAL | GRADO DE CATALOGACIÓN PGOUM97 | Nº DE CATÁ-LOGO |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Arquitectura Princ. | Singular | Singular | 32123 |
| Arquitectura Pabellón | Descatalogado | Singular | 32124 |
| Edificación | Parcial | Singular | 32125 |

| EDIFICIO | GRADO DE CATALOGACIÓN ACTUAL | GRADO DE CATALOGACIÓN PGOUM97 | Nº DE CATÁLOGO |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Aeronáutica Princ. | Parcial | Parcial | 32100 |
| Aeronáutica EUITA | Parcial | Parcial | 32101 |
| Aeronáutica Biblioteca | - | - | - |
| Aeronáutica Aulario | Descatalogado | Parcial | 32102 |
| Aeronáutica NaveMotores | - | - | - |
| Agrónomos Princ. | Estructural | Estructural | 3120 |
| Agrónomos Aulario | Descatalogado | Estructural | 32104 |
| Agrónomos Biblioteca | Descatalogado | Estructural | 3120 |
| Agrónomos Motores e Ing. Rural | Singular | Estructural | 32107 |
| Agrícola Edif. A - Princ. | Ambiental | Estructural | 32108 |
| Agrícola Edif. B - Anexo | Descatalogado | Estructural | 32109 |
| Agrícola Edif. C - Aulario | - | - | - |
| Agrícola Edif. D - Biblioteca | - | - | - |
| Caminos | Volumétrico | Parcial | 32056 |
| Montes Aulario | Parcial | Parcial | * |
| Montes Biblioteca | Parcial | Parcial | * |
| Montes Carpintería | Parcial | Parcial | * |
| Montes Dasometría | Descatalogado | Parcial | 32033 |
| Montes Hidráulica | Estructural | Parcial | 32030 |
| Montes Laboratorio Madera | Estructural | Parcial | 32032 |
| Montes Edif. Nuevo | Parcial | Parcial | * |
| Montes Pascicultura | Parcial | Parcial | * |
| Montes Piscifactoría | Estructural | Parcial | 32029 |
| Montes Princ. | Parcial | Parcial | * |
| Montes Selvicultura | Parcial | Parcial | * |
| Montes Tecno. Madera | Descatalogado | Parcial | 32034 |
| Navales | Estructural | Parcial | 32099 |
| Telecomunicación Edif. A | Estructural | Integral | 32010 |
| Telecomunicación Edif. B | Estructural | Integral | 32011 |
| Telecomunicación Edif. C | Descatalogado | Integral | 32012 |
| Telecomunicación Edif. D | - | - | - |
| Forestales Princ. | - | - | - |
| Forestales Ampliación | - | - | - |
| INEF Princ. | - | - | - |
| INEF Social | - | - | - |
| Rectorado Edif. A | - | - | - |
| Rectorado Edif. B | - | - | - |
| Rectorado Edif. C | - | - | - |

Tabla 8. Catalogación de edificios según su valor.

ÁREA DE GOBIERNO DE URBANISMO Y VIVIENDA, Ayuntamiento de Madrid, *Listado del catálogo de edificios protegidos*



13. Listado de propuestas de intervención

Las propuestas son mejoras derivadas de los análisis que se limitan a mejorar las características del funcionamiento a nivel constructivo, de instalaciones o intervención sobre el entorno. Sin embargo, para conseguir que el edificio llegase a niveles de un *edificio de consumo casi nulo*, sería necesario aplicar *técnicas bioclimáticas* adicionales. La inclusión de estas técnicas deberá ser estudiada en cada caso en particular, y dada la amplia posibilidad de técnicas que se pueden aplicar, se establecen únicamente las pautas que habrá que seguir de forma general. Las intervenciones del catálogo se corresponden con el listado a continuación y su aplicación se propone para aquellos casos que lo necesitan y la protección patrimonial lo permite mediante su aprobación.

Aspectos generales.

1. Conexión entre edificios mediante ampliaciones.
2. Compacidad geométrica de las ampliaciones.
3. Crecimiento en altura de edificios pequeños.
4. Las ampliaciones deben favorecer la orientación Norte-Sur
5. Redistribución de espacios internos según uso, tamaño y orientación adecuados.
6. Replantear usos de los espacios en los edificios para un mejor aprovechamiento energético. Edificios pequeños preferiblemente uso docente y edificios de mayor tamaño uso mixto según compatibilidad.
7. Dar uso a plantas bajo rasante.

Envolvente.

8. Mejorar la *transmitancia térmica* de la envolvente (aislamiento).
9. Cambio de carpinterías por otras dobles bajo emisivo o incluso triples y con rotura de puente térmico.



| EDIFICIO | GRADO DE CATALOGACIÓN ACTUAL | PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|----|---------------|----|---------|----|
| | | Aspectos generales | | | | | | Envolvente | | | | Instalaciones | | Entorno | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Agrícola Edif. C - Aula-rio | - | | | | ● | ● | ● | | ● | | | ● | ● | ● | ● |
| Agrícola Edif. D - Bi-blioteca | - | | | | ● | ● | ● | | ● | | | ● | ● | ● | ● |
| Camino | Volumétrico | | | | | | ● | ● | | | | | ● | ● | ● |
| Montes Aulario | Parcial | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | | ● | | |
| Montes Biblioteca | Parcial | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | | ● | | |
| Montes Carpintería | Parcial | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Montes Dasometría | Descatalogado | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Montes Hidráulica | Estructural | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | | |
| Montes Laboratorio Madera | Estructural | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | | ● | | ● | | |
| Montes Edif. Nuevo | Parcial | | | | | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | | |
| Montes Piscicultura | Parcial | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Montes Piscifactoría | Estructural | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | | |
| Montes Princ. | Parcial | | | | | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | | ● |
| Montes Selvicultura | Parcial | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | |
| Montes Tecno. Madera | Descatalogado | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | | |
| Navales | Estructural | | | | | | ● | ● | | | | ● | ● | | ● |
| Telecomunicación Edif. A | Estructural | | | | | | | ● | | | | ● | ● | ● | |
| Telecomunicación Edif. B | Estructural | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | |
| Telecomunicación Edif. C | Descatalogado | | | | ● | ● | | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● |
| Telecomunicación Edif. D | - | | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | |
| Forestales Princ. | - | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | |
| Forestales Ampliación | - | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | |
| INEF Princ. | - | | | | ● | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | |
| INEF Social | - | | | | ● | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | |
| Rectorado Edif. A | - | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | |
| Rectorado Edif. B | - | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● |
| Rectorado Edif. C | - | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● |

Tabla 9. Catálogo de propuestas de intervención particularizadas a cada caso

Para los edificios con protección marcada en rojo deberá confirmarse que ese tipo de protección es la que tienen actualmente para considerar válidas las propuestas planteadas.

Todas las propuestas bioclimáticas adicionales que se puedan plantear, deberán seguir las pautas que se definen. Conforme a lo establecido

anteriormente, estas modificaciones también quedan sujetas a la aprobación por parte de la comisión de patrimonio.

1. *Buen diseño constructivo*
2. *Buena práctica de diseño bioclimático*
3. *Selección de materiales sostenibles*
4. *Captación de energías renovables*
5. *Uso de instalaciones eficientes*
6. *Educación al usuario*⁸

15. Caso práctico de propuesta de mejora

La realización del caso práctico tiene como objetivo mostrar la validez de las mejoras planteadas y afianzar la utilidad del trabajo. El edificio seleccionado es el edificio de Selvicultura de ETSI Montes, que ha sido el que peor comportamiento energético ha mostrado en los análisis. Las intervenciones pretenden mejorar su eficiencia al mejor valor de la escala de indicador de letra, así como reducir todos los consumos, emisiones y demandas al mínimo. Sin embargo, dado que las propuestas son las planteadas en el catálogo podrían aplicarse mejoras adicionales que redujesen más los valores que veremos al final.

Para mejorar la situación actual del edificio, se ha utilizado el mismo archivo que se utilizó para hacer la certificación oficial. Es por eso que no se pueden aplicar todas las propuestas del catálogo, ya que como se ha mencionado previamente, el programa informático no contempla todos los factores que influyen en el comportamiento del edificio. Para poder hacer una mejora más aproximada y real, sería necesario utilizar programas informáticos de modelado como *Design Builder*, que dan posibilidad de hacer propuestas más complejas y reales de las mejoras.

Contemplando la posibilidad de que la realización de las mejoras podría suponer una inversión económica muy elevada, se han planteado distintos estados según lo que se pretenda mejorar. De este modo se plantea por una parte la mejora de las instalaciones únicamente y por

8. Neila González, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004



otra, la mejora de la envolvente y características constructivas. La propuesta final contempla la mejora integral del edificio incluyendo ambos aspectos. En cada uno de los casos, se compara el impacto que supone la mejora con el estado actual del edificio, tanto a nivel cuantitativo como de indicador de letra. El estado actual del edificio es el que se muestra a continuación.

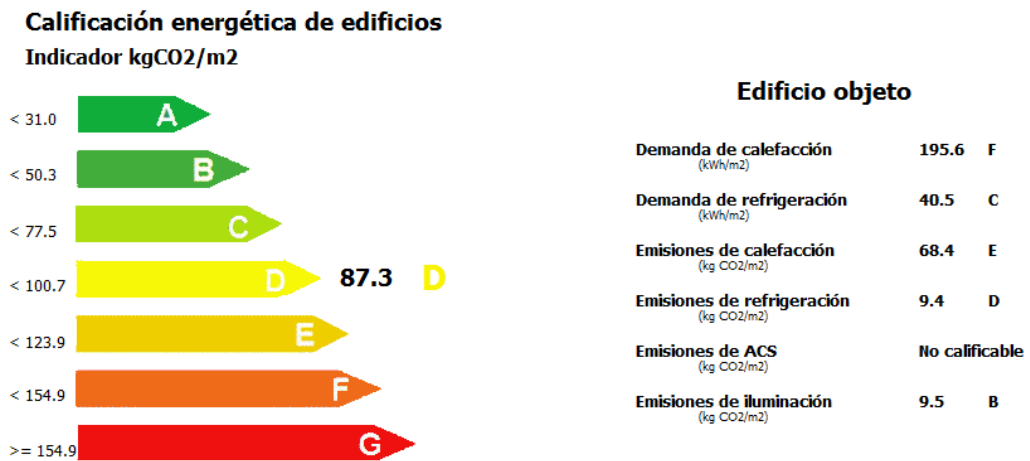


Figura 16. Calificación energética del estado actual del edificio ETSI Montes Selvicultura

Mejora de las instalaciones. Uno de los principales problemas que plantean las instalaciones actuales es la antigüedad del equipo, ya que son anteriores a 1994. La vida útil y el rendimiento del equipo podrían verse bastante mejorados con una renovación de las instalaciones, reduciendo el consumo necesario para generar calor. Actualmente el edificio no contempla uso de ACS ni tiene sistemas de refrigeración. La renovación que se plantea afecta a la situación actual tal y como está. La propuesta final sí incluye estos aspectos ya que una de las intervenciones plantea un cambio de uso, por lo que en ese caso podría ser necesario el uso de ACS o de sistemas de refrigeración. Los sistemas de iluminación se mejoran planteando el uso de luminarias LED, cuyo consumo energético es menor.

9. Zabalza, Ignacio, y otros. *Manual práctico de certificación energética de edificios*, Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008, páginas 136-140

La fuente de energía que se está utilizando es la electricidad, que ‘es la que mayores emisiones tiene asociadas y que requiere más consumo para generar 1 kWh de energía.’⁹ (Tabla 10) El cambio en las instalaciones tiene como objetivo mejorar la calidad de las mismas de forma que se reduzca el consumo con un buen rendimiento, se reduzcan las emisiones y se uti-

licen fuentes de energía sostenibles. Además de la renovación se plantea un cambio en la fuente de energía por otra de origen natural, aunque lo ideal sería autogenerar la energía que se consume mediante sistemas de captación de energía.

| TIPO DE ENERGÍA | ENERGÍA FINAL | ENERGÍA PRIMARIA | EMISIONES |
|-----------------|---------------|------------------|--------------------------|
| Electricidad | 1 kWh | 2,603 kWh | 0,649 kg CO ₂ |
| Gas natural | 1 kWh | 1,011 kWh | 0,204 kg CO ₂ |
| Carbón | 1 kWh | 1 kWh | 0,347 kg CO ₂ |
| GLP | 1 kWh | 1,081 kWh | 0,244 kg CO ₂ |
| Gasóleo | 1 kWh | 1,081 kWh | 0,287 kg CO ₂ |
| Fueloil | 1 kWh | 1,081 kWh | 0,28 kg CO ₂ |
| Biocombustibles | 1 kWh | 1 kWh | 0 kg CO ₂ |
| Renovables | 1 kWh | - | 0 kg CO ₂ |

Tabla 10. Relación de tipos de energía primaria y emisiones
ZABALZA, Ignacio, y otros. Manual práctico de certificación energética de edificios

Es recomendable que el ACS se caliente por calefacción y para la refrigeración y calefacción se utilice una bomba de calor. Para generar calor se puede utilizar una caldera de gas convencional aunque será mejor si se utiliza de biogás o biomasa por su carácter más sostenible. Para refrigeración sin embargo es más recomendable el uso de geotermia. En este caso, se ha optado por utilizar biomasa no densificada de forma que las emisiones y consumo se reducen bastante comparados con la situación actual. Además, el indicador de letra mejora considerablemente acercándose bastante a la A, aunque la demanda de calefacción y refrigeración siguen siendo bastante elevadas.

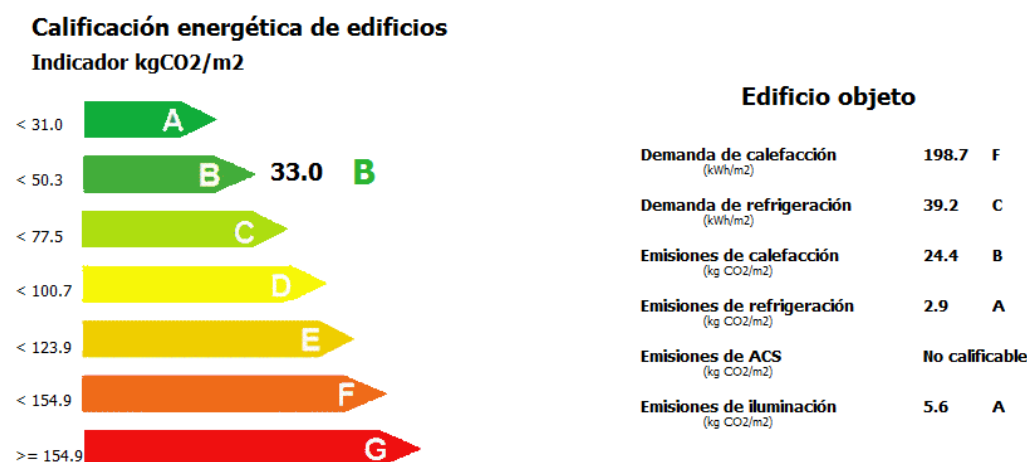


Figura 17. Calificación energética de la propuesta de mejora de las instalaciones del edificio ETSI Montes Selvicultura



Mejora de la envolvente. La mejora de la envolvente debe materializarse añadiendo las capas necesarias por el interior de las fachadas y cubiertas. Aunque la superficie útil se vea reducida, la mejora en la eficiencia energética del edificio hace que sea una intervención que merezca la pena llevar a cabo. Al igual que en el apartado anterior, la intención de la propuesta es conseguir reducir en consumo y emisiones mediante la utilización de materiales sostenibles. Además, la mejora de la envolvente es bastante beneficiosa porque afectará al edificio durante toda su vida útil, mientras que las instalaciones habrá que renovarlas con asiduidad para conseguir que mejoren su rendimiento. Este tipo de intervenciones son las que harán que el edificio se adapte mejor al medio, necesitando menor actuación de instalaciones y aprovechando de forma más pasiva la energía que se genera.

La intervención en fachada desde el exterior plantea el cambio del acabado por placas de piedra natural con color claro para reflejar la radiación. 'El muro existente se aprovecha y por el interior, se añade una cámara de aire, aislamiento térmico reforzado en la fachada norte (mayor grosor), madera para la composición del muro interior y placas de yeso como acabado interior.'¹⁰ Los materiales que se utilizan tienen origen natural para mejorar la sostenibilidad del edificio en todos sus aspectos, no solo en el resultado final. La elección de la madera se debe al buen comportamiento térmico ya que es un material aislante y que requiere menor grosor, por lo que el espesor del muro no sería tan elevado y se dejarían algunos centímetros más de superficie útil. Finalmente, el aislamiento se adapta a la orientación de cada fachada para optimizar las pérdidas y se plantea también con origen natural, como fibra de cáñamo, aunque el programa no lo contempla y se ha puesto lana de roca.

10. Sánchez Paradela, María Laura. *Fachadas y Cubiertas: Técnicas de construcción convencionales y avanzadas*, Madrid: Mairea Libros, Edición 2015, 2008, páginas 7-9; 49-62; 233-242 y 255-265.

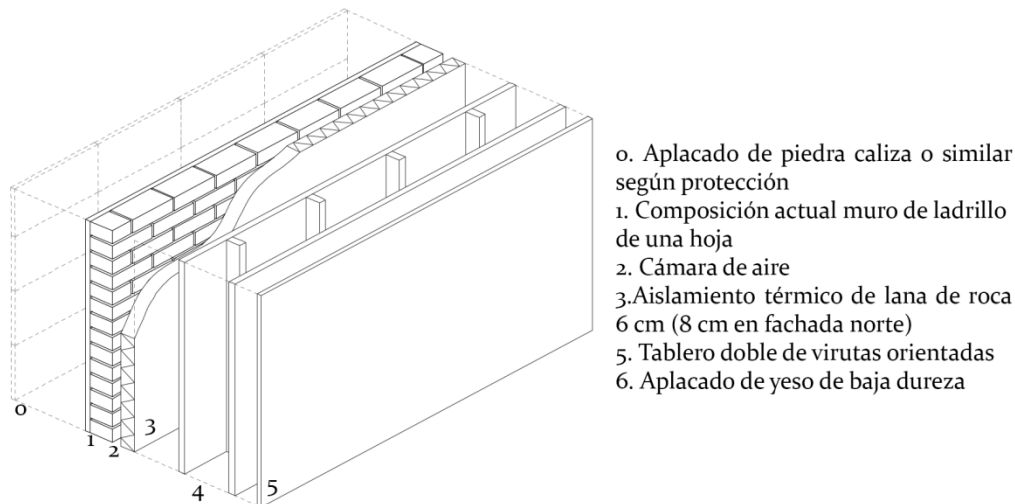
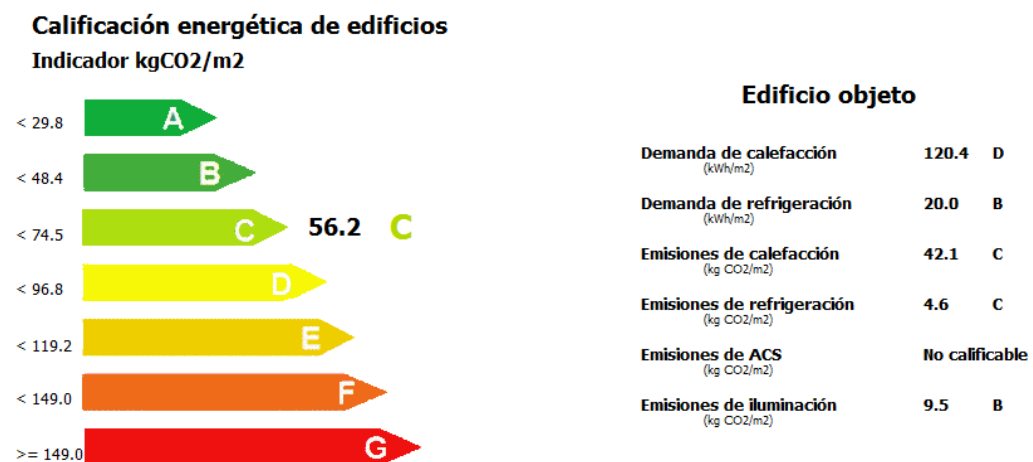


Figura 18. Composición de fachada propuesta para la mejora de la eficiencia energética del edificio de ETSI Montes Selvicultura

‘La mejora de la cubierta se limita únicamente al interior y tiene las mismas características que en fachada. Se añade una pequeña cámara de aire, aislamiento térmico (10 cm), panelado de madera y acabado con placas de yeso.’^{11,12}

Las mejoras con los materiales propuestos consiguen reducir la demanda y emisiones de calefacción y refrigeración a prácticamente la mitad. De este modo el edificio funcionaría mejor y sería más fácil conseguir la *temperatura de confort*, ya que las pérdidas se verían bastante reducidas. Si bien es cierto que el indicador de letra mejora a sólo una C, es bastante importante no ignorar la importancia que tiene la envolvente en el comportamiento del edificio.



11. Sánchez Paradela, María Laura. *Fachadas y Cubiertas: Técnicas de construcción convencionales y avanzadas*, Madrid: Mairera Libros, Edición 2015, 2008, páginas 7-9; 49-62; 233-242 y 255-265.

12. Alcalde Pecero, Francisco. *Banco de detalles arquitectónicos*, Sevilla: Marsay Ediciones, 2002, páginas 169-184 y 185-194

Figura 19. Calificación energética de la propuesta de mejora de la envolvente del edificio ETSI Montes Selvicultura

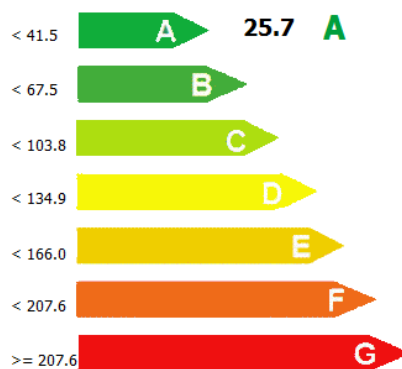
Mejora integral propuesta. La propuesta de mejoras de cada aspecto independiente contribuye bastante a conseguir un funcionamiento más sostenible del edificio. Sin embargo, los resultados no llegan a ser todo



los positivos que deberían para conseguir unos resultados óptimos. La combinación de ambas propuestas de mejora es lo que realmente va a hacer que el edificio vea mejorado su comportamiento y reducidos su valores hasta 4 veces en el resultado numérico del indicador. El resto de valores de demanda y emisiones se ven reducidos de la manera que ha sido explicada en las mejoras independientes. Sin embargo, donde realmente se ve la diferencia es en la letra obtenida en cada caso, consiguiendo una A en la mayoría de los resultados.

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

| | | |
|--|-------|---|
| Demanda de calefacción (kWh/m ²) | 125.0 | D |
| Demanda de refrigeración (kWh/m ²) | 18.5 | B |
| Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²) | 14.6 | A |
| Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²) | 1.3 | A |
| Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²) | 4.1 | A |
| Emisiones de iluminación (kg CO ₂ /m ²) | 5.6 | A |

Figura 20. Calificación energética de la propuesta de mejora integral del edificio ETSI Montes Selva-cultura

Para concluir, se puede afirmar que para conseguir que el edificio funcione de una forma adecuada es necesario combinar los dos tipos de intervenciones. Las mejoras derivadas del análisis ven confirmada su validez mediante este caso práctico. Si se aplicasen al resto de edificios del campus, la mejora de la sostenibilidad supondría un gran beneficio para la calidad de la universidad, su economía, los usuarios, su entorno e incluso la ciudad.



VI. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El trabajo ha llegado finalmente a un punto en que las posibilidades que permite para continuar son bastante amplias. La información y conclusiones obtenidas hace que puedan ser interpretadas desde distintos puntos de vista según el enfoque que se quiera dar a su desarrollo. Como la duración del cuatrimestre es limitada, a continuación se reúnen algunas de las posibilidades que deberían llevarse a cabo para conseguir el objetivo final de este trabajo, mejorar la sostenibilidad del campus.

1. Estudio de soluciones bioclimáticas en cada caso particular
2. Análisis de viabilidad económica de las propuestas
3. Análisis de viabilidad de las propuestas según su protección
4. Análisis del impacto económico a medio y largo plazo
5. Modelado informático de mejoras mediante programas como *Design Builder* o similar
6. Análisis del impacto medioambiental de las mejoras sobre el entorno
7. Nuevas formas de intervenir en los edificios y el entorno de Ciudad Universitaria



VII. CONCLUSIONES

La realización del trabajo permite conocer el estado real de los edificios de la universidad. Los resultados verifican el mal funcionamiento de todos los edificios analizados con independencia del año en que han sido construidos. Suponiendo que la forma de construirlos y exigencias con las que han cumplido ha sido similar en el resto de edificios de cada época, podemos deducir que el comportamiento energético de gran parte los edificios existentes hasta la fecha es pésimo, al menos en aquellos de características similares a los analizados. Por tanto, el trabajo da lugar a las siguientes conclusiones:

1. Existe una clara necesidad de intervenir sobre los edificios con fin de mejorar su eficiencia, comportamiento energético y perjuicio al medio ambiente.
2. La intervención deberá ser abordada desde el diseño bioclimático para conseguir una mejora constructiva, proyectual y de instalaciones según las pautas definidas. Su comportamiento tiene que ser cercano a valores de edificios de consumo casi nulo y seguir los principios de sostenibilidad e indicaciones expuestas.
3. Las mejoras tienen que conseguir la adaptación del edificio en las distintas estaciones y a lo largo del tiempo. Los cambios en el clima y el calentamiento global suponen un cambio en las necesidades energéticas que debemos contemplar y prever.
4. Las exigencias actuales del CTE resultan insuficientes para conseguir un comportamiento energético óptimo. Es recomendable tomar otros marcos o estándares más restrictivos como referencia para optimizar la eficiencia de los edificios, a la espera de conocer la modificación del CTE para 2020 en edificios privados, y finales de este año 2018 en edificios públicos.

Finalmente y llegados a este punto, el trabajo me ha llevado plantear dos cuestiones sobre las que sería conveniente reflexionar. Las necesidades están cambiando y tenemos que buscar la mejor manera de adaptarnos, por lo que se plantea lo siguiente:

1. La protección patrimonial limita las posibilidades de intervención sobre edificios con claras carencias. Actualmente el valor histórico y cultural prima por encima de las necesidades medioambientales, por lo que resulta necesario hacer una revisión de la catalogación, tanto particular como al conjunto. Además debemos cuestionarnos si realmente tiene sentido dificultar la mejora energética de los edificios a favor de su carácter histórico-cultural, dadas las necesidades energéticas que se nos plantean en la actualidad. Esto no significa acabar con los edificios y su historia, simplemente buscar un equilibrio entre su conservación y su adaptación a las condiciones del medio.
2. La forma que tenemos de hacer uso de nuestro entorno es bastante perjudicial y destructiva para el medio, pese a ser un tema que muchos ignoran o no interesa. Lejos de ser un problema sencillo, debe ser abordado desde distintos ámbitos y resulta necesaria la divulgación y concienciación por parte de todos. A nivel personal y profesional, invito a reflexionar sobre qué hábitos podemos modificar para contribuir a reducir el perjuicio.



Apéndices

- A. Tablas auxiliares
- B. Bibliografía



A. Tablas auxiliares



Apéndice. Tablas auxiliares

| ANÁLISIS CONSUMO Y EMISIONES | Edificios | Tamaño Edificio | Sup. Útil | Nº plantas habit. | Plantas bajo rasante | Año de construcción | Orientación principal | Uso | Tipo volumetría | Entorno | Aislamiento en fachada | Material fachada | Color acabado | Tipo Carpinterías | Tipo cubierta | Aislamiento cubierta | Sist. Instalaciones | Combustible | Antigüedad equipo |
|------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|--|------------------------|------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Mejores resultados | Forestales Princ. | Mediano | 4.709,08 | 5 | 1 | 1960 | N-S | Enseñanza | Sencilla | Veg. A sur | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT/PVC | Inclinada | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Telecomunicación Edif. C | Grande | 11.529,89 | 5 | 0 | 1993 | N-S | Investigación/Oficinas | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Caminos | Muy grande | 37.073,44 | 13 | 2* | 1968 | NO-SE | Enseñanza/Oficinas/Investigación | Compleja | Veg. A oeste y parcial a este entorno urb. | Desconocido | Hormigón visto | Claro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gas natural/Electricidad | Ant. 1994/Post. 2013 |
| | Arquitectura Princ. | Muy grande | 22.461,55 | 6 | 1* (2) | 1933 | N-S/E-O | Enseñanza | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | No | Placas piedra | Claro | Simple/Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994/1994-2013 |
| | Telecomunicación Edif. B | Mediano | 9.473,07 | 5 | 0 | 1975 | N-S/E-O | Enseñanza | Sencilla | Veg. Parcial a sur entorno urb. | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| Peores resultados | Montes Carpintería | Muy pequeño | 118,44 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo | >10 años |
| | Montes Piscifactoría | Muy pequeño | 342,46 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O | Investigación | Compleja | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo/Electricidad | >10 años |
| | Montes Selvicultura | Muy pequeño | 446,02 | 1 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | SE-NO | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Mortero | Claro | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Electricidad | Ant. 1994 |
| | Rectorado Edif. A | Mediano | 9.166,12 | 10 | 1* | 1970 | N-S/E-O | Oficinas | Compleja | Escasa vegetación entorno urb. | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT | Plana | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Rectorado Edif. B | Pequeño | 2.034,57 | 2 | 0 | 1989 | NO-SE/NE-SO | Oficinas | Sencilla | Veg. en exterior, exento interior y entorno urb. | Sí | Ladrillo | Medio | Doble bajo emisivo met. Sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |

Análisis de factores por consumo y emisiones

| ANÁLISIS LETRA | Edificios | Tamaño Edificio | Sup. Útil | Nº plantas habit. | Plantas bajo rasante | Año de construcción | Orientación principal | Uso | Tipo volumetría | Entorno | Aislamiento en fachada | Material fachada | Color acabado | Tipo Carpinterías | Tipo cubierta | Aislamiento cubierta | Sist. Instalaciones | Combustible | Antigüedad equipo |
|--------------------|--------------------------|-----------------|-----------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|--|------------------------|------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Mejores resultados | Edificación | Grande | 11.196,72 | 5 (6) | 3* | 1962 | N-S/E-O | Enseñanza | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | Desconocido | Placas piedra | Claro | Doble met. sin RPT | Inclinada | Sí | Frío y calor | Gasóleo | Ant. 1994 |
| | Montes Edif. Nuevo | Mediano | 5.198,90 | 5 | 1* | 1960 (Ref. 1980) | N-S/E-O | Enseñanza | Compleja | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple/Doble met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Telecomunicación Edif. C | Grande | 11.529,89 | 5 | 0 | 1993 | N-S | Investigación/Oficinas | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Caminos | Muy grande | 37.073,44 | 13 | 2* | 1968 | NO-SE | Enseñanza/Oficinas/Investigación | Compleja | Veg. A oeste y parcial a este entorno urb. | Desconocido | Hormigón visto | Claro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gas natural/Electricidad | Ant. 1994/Post. 2013 |
| | Arquitectura Princ. | Muy grande | 22.461,55 | 6 | 1* (2) | 1933 | N-S/E-O | Enseñanza | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | No | Placas piedra | Claro | Simple/Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994/1994-2013 |
| | Telecomunicación Edif. B | Mediano | 9.473,07 | 5 | 0 | 1975 | N-S/E-O | Enseñanza | Sencilla | Veg. Parcial a sur entorno urb. | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| Peores resultados | Montes Selvicultura | Muy pequeño | 446,02 | 1 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | SE-NO | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Mortero | Claro | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Electricidad | Ant. 1994 |
| | Rectorado Edif. A | Mediano | 9.166,12 | 10 | 1* | 1970 | N-S/E-O | Oficinas | Compleja | Escasa vegetación entorno urb. | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT | Plana | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Rectorado Edif. C | Muy pequeño | 476,81 | 2 | 0 | 1989 | NO-SE | Oficinas | Sencilla | Veg. A sur exento interior entorno urb. | Sí | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Electricidad | 1994-2013 |
| | Forestales Princ. | Mediano | 4.709,08 | 5 | 1 | 1960 | N-S | Enseñanza | Sencilla | Veg. A Sur | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT/PVC | Inclinada | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |

* Plantas parcialmente bajo rasante

Análisis de factores por indicador de letra

El criterio utilizado para definir el tamaño es el siguiente.

| Criterio tamaño edificios | |
|---------------------------|------------------------------|
| Muy pequeño | <500 m ² |
| Pequeño | 500 - 2.5000 m ² |
| Mediano | 2.500-10.000 m ² |
| Grande | 10.000-20.000 m ² |
| Muy grande | >20.000 m ² |



| ANÁLISIS DEMANDA CALEFACCIÓN | Edificios | Tamaño Edificio | Sup. Útil | Nº plantas habit. | Plantas bajo rasante | Año de construcción | Orientación principal | Uso | Tipo volumétrica | Entorno | Aislamiento en fachada | Materia l fachada | Color acabado | Tipo Carpinterías | Tipo cubierta | Aislamiento cubierta | Sist. Instalaciones | Combustible | Antigüedad equipo |
|------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Mejores resultados | Telecomunicación Edif. D | Pequeño | 1.910,40 | 3 | 0 | 2005 | E | Investigación | Sencilla | Escasa vegetación | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo C/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Arquitectura Pabellón | Mediano | 7.721,60 | 4 | 0 | 1975 | E-O | Oficinas | Sencilla | Escasa vegetación | No | Placas piedra | Claro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gas natural/ Gasóleo C/ Electricidad | Ant. 1994 |
| | Telecomunicación Edif. C | Grande | 11.529,89 | 5 | 0 | 1993 | N-S | Investigación/Oficinas | Sencilla | Escasa vegetación | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Agrónomos Aulario | Pequeño | 2.217,90 | 4 | 1 | 1990 | NO-SE | Enseñanza | Sencilla | Escasa vegetación Fachada sur vidrio | Sí | Ladrillo | Medio | Doble bajo emisivo met. Sin RPT | Plana | Sí | Frío Indiv. y calor | Gasóleo C/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Aeronáutica EUITA | Mediano | 7.314,00 | 6 | 1 | 1989 | NE-SO/NO-SE | Enseñanza | Sencilla | Abundante vegetación | Sí | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo C/Electricidad | Ant. 1994 |
| Peores resultados | Montes Pascicultura | Muy pequeño | 371,20 | 1 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O/N-S | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Electricidad | Desconocido |
| | Montes Dasometría | Muy pequeño | 290,30 | 1 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O/N-S | Investigación | Compleja* | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo C | Desconocido |
| | Montes Piscifactoría | Muy pequeño | 342,46 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O | Investigación | Compleja* | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo/Electricidad | >10 años |
| | Montes Carpintería | Muy pequeño | 118,44 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo | >10 años |
| | Montes Selvicultura | Muy pequeño | 446,02 | 1 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | SE-NO | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Mortero | Claro | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Electricidad | Ant. 1994 |

Análisis de factores según demanda de calefacción

Se considera la inexistencia de los datos que aparezcan como desconocido en aislamiento

El criterio utilizado para definir el tamaño es el siguiente.

| Criterio tamaño edificios | |
|---------------------------|------------------------------|
| Muy pequeño | <500 m ² |
| Pequeño | 500 - 2.5000 m ² |
| Mediano | 2.500-10.000 m ² |
| Grande | 10.000-20.000 m ² |
| Muy grande | >20.000 m ² |



| ANÁLISIS DEMANDA REFRIGERACIÓN | Edificios | Tamaño Edificio | Sup. Útil | Nº plantas habit. | Plantas bajo rasante | Año de construcción | Orientación principal | Uso | Tipo volumetría | Entorno | Aislamiento en fachada | Material fachada | Color acabado | Tipo Carpinterías | Tipo cubierta | Aislamiento cubierta | Sist. Instalaciones | Combustible | Antigüedad equipo |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Mejores resultados | Montes Tecno. Madera | Muy pequeño | 300,00 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | N-S | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. Sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo C | Desconocido |
| | Forestales Princ. | Mediano | 4.709,08 | 5 | 1 | 1960 | N-S | Enseñanza | Sencilla | Veg. A sur | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. sin RPT/PVC | Inclinada | Desconocido | Frío y calor | Gasóleo/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Aeronáutica NaveMotores | Mediano | 4.273,94 | 3 | 1* | 1989 | SO-NE | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Sí | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Diente Sierra | Sí | Frío y calor | Electricidad | Ant. 1994 |
| | Agrícola Edif. D - Biblioteca | Mediano | 2.982,45 | 3 | 1* | 2001 | N-S-E-O | Biblioteca | Sencilla | Veg a norte, pocos huecos en fachada | Sí | Plaqueta cerámica | Claro | Doble met. Sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gas natural/ Electricidad | Ant. 1994 |
| | Montes Aulario | Pequeño | 1.216,00 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | N-S-E-O | Enseñanza | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. Sin RPT | Inclinada | Desconocido | Frío Indiv. y calor | Gasóleo C/Electricidad | Post, 2013 |
| Peores resultados | Montes Carpintería | Pequeño | 118,44 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | E-O | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Simple met. sin RPT | Inclinada | Desconocido | Calor | Gasóleo | >10 años |
| | Agrónomos Aulario | Pequeño | 2.217,90 | 4 | 1 | 1990 | NO-SE | Enseñanza | Sencilla | Escasa vegetación Fachada sur vidrio | Sí | Ladrillo | Medio | Doble bajo emisivo met. Sin RPT | Plana | Sí | Frío Indiv. y calor | Gasóleo C/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Arquitectura Pabellón | Mediano | 7.721,60 | 4 | 0 | 1975 | E-O | Oficinas | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | No | Placas piedra | Claro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gas natural/ Gasóleo C/ Electricidad | Ant. 1994 |
| | Telecomunicación Edif. D | Pequeño | 1.910,40 | 3 | 0 | 2005 | E | Investigación | Sencilla | Escasa vegetación entorno urb. | Sí | Pizarra | Oscuro | Doble met. sin RPT | Plana | Sí | Frío y calor | Gasóleo C/Electricidad | Ant. 1994 |
| | Montes Laboratorio Madera | Pequeño | 730,11 | 2 | 0 | 1960 (Ref. 1980) | NO-SE | Investigación | Sencilla | Abundante vegetación | Desconocido | Ladrillo | Medio | Doble met. Sin RPT | Inclinada | Desconocido | Frío Indiv. y calor | Gasóleo C/Electricidad | Entre 1994-2013 |

Análisis de factores según demanda de refrigeración

Se considera la inexistencia de los datos que aparezcan como desconocido en aislamiento

El criterio utilizado para definir el tamaño es el siguiente.

| Criterio tamaño edificios | |
|---------------------------|------------------------------|
| Muy pequeño | <500 m ² |
| Pequeño | 500 - 2.5000 m ² |
| Mediano | 2.500-10.000 m ² |
| Grande | 10.000-20.000 m ² |
| Muy grande | >20.000 m ² |



B. Bibliografía

Documentación escrita

La consulta de documentación escrita ha sido necesaria durante todo el desarrollo del trabajo. Me ha sido útil desde el inicio para contextualizar y conocer las condiciones en que se encuentra la Ciudad Universitaria, hasta el final para encontrar soluciones constructivas que se adecúen a lo expuesto en el trabajo. Mediante un pequeño párrafo explíco en cada caso la relevancia y utilidad que ha tenido con fin de que puedan ser consultados para mayor conocimiento sobre el tema que abordan.

ALCALDE PECERO, FRANCISCO. *Banco de detalles arquitectónicos*, Sevilla: Marsay Ediciones, 2002, páginas 169-184 y 185-194

La protección patrimonial limita las posibilidades de intervención sobre el edificio. Este libro ha sido consultado en busca de posibilidades constructivas viables para mejorar la transmitancia de la cubierta. Para ello se han consultado soluciones cuyas capas se plantean por el interior de forma que se respete la protección y se mejore la composición actual sin modificar su apariencia exterior.

FERNÁNDEZ DE SEVILLA MORALES, MIGUEL. *La Ciudad Universitaria de Madrid, ochenta años de historia (1927-2007)*, Madrid: Edisofer, 2008, páginas 31-34 y 51-53.

El marco histórico y cultural de la Ciudad Universitaria responde a distintas épocas en que sus edificios y urbanismo dan lugar a una respuesta muy distinta a las necesidades. El salto temporal entre los primeros edificios construidos y los últimos hace que este libro ayude a entender el contexto en que se sitúan los edificios que forman el campus. Como se expone en el libro, la Ciudad Universitaria está protegida en su conjunto y muchos elementos que los componen de forma particular, por lo que ha sido necesario en

tender el contexto para proceder de cara al análisis e intervenciones.

MOYA GONZÁLEZ, Luis; LUXÁN GARCÍA DE DIEGO, Margarita. *Convenio de colaboración entre la fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid para la realización de una auditoría energética y un proyecto básico para la mejora de la eficiencia energética en la edificación de la ET-SAM*, Madrid, 2008, Tomo I: páginas 27-34; Tomo II: Volumen 1, Volumen 2

El contraste de información es fundamental cuando se desconoce su procedencia y se necesita verificar, de algún modo, su validez. La utilización de esta auditoría energética ha sido determinante para conocer el estado real de los edificios de arquitectura, ya que se muestra de forma sumamente detallada el estado de la envolvente, instalaciones de climatización, de electricidad e iluminación. El contraste de las certificaciones con esta tesis ha permitido conocer con mayor fiabilidad el nivel de rigor de las certificaciones energéticas.

MORTON, Timothy. *Zero Landscapes in the times of hyperobjects*, Graz: Graz Architectural Magazine, 2007, páginas 80-87

La forma que tenemos de habitar nuestro entorno parte de una postura totalmente antropocéntrica que nos ha acompañado durante siglos. La lectura y conocimiento de este filósofo me ha permitido cuestionarme los problemas a los que nos enfrentamos cuando hablamos de sostenibilidad. Su postura acerca del calentamiento global, la ecología y la forma que tenemos de vivir invita a reflexionar y en mi caso, a entender que el diseño bioclimático debe ser llevado al extremo. Las propuestas de mejora planteadas deben ser ambiciosas y conseguir poner al medioambiente como objeto de diseño y beneficio frente al humano, aunque para lograrlo vaya a haber numerosos impedimentos cuya cuestión ha sido abordada. Recomiendo a quien sienta interés por la sostenibilidad



tomarse tiempo y paciencia para leerlo, y a quien no, que por lo menos lo intente.

NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid: Munilla-Lería, Marzo 2004, 443 páginas

Las condiciones climáticas que afectan a la arquitectura son distintas según el lugar en que se emplaza. Por eso, la forma en que tenemos que abordarla también lo debería de ser. Este libro, junto a las clases y tutelas que he tenido con su autor, me han permitido conocer los condicionantes y estrategias del diseño bioclimático a utilizar, tanto en edificios de nueva planta como en los existentes. Ha contribuido por tanto a establecer las pautas de diseño de propuestas adicionales y a establecer mi postura de cara a la sostenibilidad. Recomiendo la lectura de este libro para iniciarse en el conocimiento de la arquitectura bioclimática por su carácter divulgativo y su claridad.

NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier, y otros, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Madrid: Munilla-Lería, 2013, 458 páginas

Siguiendo la línea del libro anterior, este libro tiene el mismo carácter y permite conocer cómo funcionan los edificios desde el punto de vista energético. Su influencia se ve clara en el establecimiento de factores que influyen al funcionamiento de los edificios. Gracias a los factores seleccionados se han podido detectar los edificios con peor y mejor funcionamiento, y los puntos críticos que se repiten de forma general.

SÁNCHEZ PARADELA, María Laura. *Fachadas y Cubiertas: Técnicas de construcción convencionales y avanzadas*, Madrid: Mairea Libros, Edición 2015, 2008, páginas 7-9; 49-62; 233-242 y 255-265.

La diferencia temporal entre los edificios del campus hace que las técnicas constructivas sean totalmente distintas entre unos y otros. La consulta de este libro me ha mostrado la forma conven

cional de construir la envolvente que se aplica en algunos de los edificios según la composición definida. Por otra parte su consulta ha sido útil para la solución dada en fachada con materiales pétreos. Finalmente ha contribuido al caso práctico, ya que las soluciones constructivas de cubierta consultadas me han ayudado a plantear distintas posibilidades y asegurar la viabilidad y funcionamiento de la cubierta.

ZABALZA, Ignacio, y otros. *Metodologías de análisis para la calificación energética de edificios*, Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2010, páginas 33-43

Mi conocimiento sobre la forma en que se obtiene la calificación energética de un edificio y los parámetros que se tienen en cuenta era bastante escaso antes de realizar este trabajo. En este libro se explica en detalle qué es y cómo se obtiene una calificación, aunque excepcionalmente algún aspecto está desactualizado por avances posteriores y hay que saber localizarlos. Se explica la escala de la calificación y valores de los que depende. Su lectura me ha permitido conocer cómo se obtiene una calificación, qué aspectos se encuentran y por tanto, cuáles se están ignorando pese a su influencia.

— *Manual práctico de certificación energética de edificios*, Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2008, páginas 136-140

Como en el caso anterior, este libro permite conocer las formas de proceder a la realización de una certificación energética. Se explica cómo utilizar uno de los programas informáticos que se utilizan y qué información es necesaria. Sin embargo en este caso ha servido para saber la dirección que deben seguir las mejoras que se planteen y en el caso de las instalaciones, conocer el consumo real según la fuente de energía que se utiliza.



Normativa

La consulta de la normativa ha sido fundamental durante todo el desarrollo del trabajo, ya que constantemente ha sido necesario contrastar información con la normativa vigente u obtener información contemplada por la misma.

ÁREA DE GOBIERNO DE URBANISMO Y VIVIENDA, Ayuntamiento de Madrid, *Compendio de las Normas Urbanísticas Plan General de Ordenación Urbana de Madrid 1997*, Madrid, Edición anotada a 15 de Julio de 2009

— *Listado del catálogo de edificios protegidos*, Madrid, Actualización de 22 de Diciembre de 2016

— *Protocolo de condiciones de protección del patrimonio histórico, artístico y cultural*, Madrid, 28 de Abril de 2011

DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA, VIVIENDA Y SUELO, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE, Ahorro de energía*, Edición Junio de 2017

DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y MINAS, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*, Madrid, Edición modificada en Septiembre de 2013

COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN, European Standard, *Light and lighting. Lighting of work places. Part I: Indoor work places*, Bruselas: Febrero de 2012. Edición española consultada adaptada al castellano por AENOR: *Norma española UNE-EN 12464-1:2011. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interiores*, Madrid: 2012

Documentación digital de referencia

La consulta de documentación digital ha sido más notable en la búsqueda de información sobre la protección y catalogación de los edificios, siendo sitios de interés los siguientes.

ÁREA DE GOBIERNO DE URBANISMO Y VIVIENDA, Ayuntamiento de Madrid, *Sistema de información geográfica de urbanismo*, 2018: http://www.2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/index_inter.jsp

— *Catálogo de elementos protegidos*, 2018:

<http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Urbanismo-y-vivienda/Informacion-Urbanistica/Catalogo-de-Elementos-Protegidos?vnextfmt=default&vnextoid=d7fe29d4ebeb3410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vnextchannel=44foodd3c84fe110VgnVCM2000000c205a0aRCRD>

— *Catálogo de edificios protegidos. Cambios de catalogación*, 31 de Diciembre de 2016:

<https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.co5cif754a33a9f4b2e4b284fia5a0/?vnextoid=86833de141e0e510VgnVCM2000000f4a900aRCRD&vnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000017f5a0aRCRD&vnextfmt=default>

COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES Y ARQUITECTOS TÉCNICOS DE MADRID, *Boletín informativo N° 593*, Septiembre de 2006:

<http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/asesoria/T%C3%A9cnica/Niveles%20de%20protecci%C3%B3n%20de%20edificios%20catalogados.pdf>

INGENIO MADRID, 2018:

<http://licenciadeapertura-ingeniomadrid.com/faq-edificios-catalogados/>



Documentación digital adicional

Durante mi proceso formativo he investigado acerca de la sostenibilidad y arquitectura bioclimática, por lo que como complemento dejo una pequeña selección de los estudios que más me han influido. En ellos podréis encontrar sus laboratorios de formación e innovación en el campo de la sostenibilidad, donde explican todo tipo de conceptos desde los más básicos, a los más complejos y/o actuales.

GXN INNOVATION, 3XN Architects, <http://gxn.3xn.com/>

RLAB, Ruíz-Larrea & Asociados, <http://www.ruizlarrea.com/rlab>

PHILIPPE RAHM ARCHITECTS, <http://www.philipperahm.com/>

PICH ARCHITECTS I+D+I, Pich-Aguilera,

<http://www.picharchitects.com/investigacion-desarrollo-innovacion-arquitectura-sostenible/>

SOS - SCHOOL OF SUSTAINABILITY, Mario Cucinella Architects, <https://www.mcarchitects.it/sos-school-of-sustainability>



Análisis energético de edificios de la UPM.

Puntos críticos y mejoras