

Prestaciones energéticas de los edificios de oficinas y evolución previsible de sus requerimientos en el Horizonte 2020: análisis específico de los edificios altos



Luis Irastorza Ruigómez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid y licenciado en Ciencias Empresariales por la Universidad Pontificia de Comillas



Jordi Pascual

Licenciado en Ciencias Físicas, DEA en ingeniería y coordinador de equipos técnicos en Aguasol

Resumen

Las políticas energética y climática de la Unión Europea tienen como uno de sus objetivos reducir al máximo la dependencia energética del exterior y descarbonizar la economía. Estas políticas tienen una gran influencia sobre el sector de la edificación donde la Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética en la edificación exige que todos los edificios de nueva planta sean de consumo casi nulo de energía a partir de 2021, obligación que se adelanta a 2019 para todos los edificios de titularidad pública. El análisis que aquí se presenta –centrado en edificios de oficinas por su mucha mayor intensidad energética con respecto a los edificios residenciales– forma parte de un estudio que pretende explorar las características técnicas y la viabilidad económica de dichos edificios de consumo casi nulo de energía.

Palabras clave

Prestaciones energéticas, optimización energética, energía, edificación, oficinas, monitorización, simulación, infiltración, calibración

Abstract

One of the main objectives of EU climate and energy policy is to reduce energy dependency and “decarbonise” the economy. These policies have a considerable influence on the building sector, and where Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings establishes that all new buildings in the EU shall have to consume ‘nearly zero-energy’ as from 2021 and that all public authority owned or rented buildings apply these measures as from 2019. The analysis presented in this paper -focusing on the case of office buildings due to their far greater energy demands with respect to residential buildings- forms part of a study that attempts to examine the technical characteristics and economic feasibility of these “nearly zero-energy” buildings.

Keywords

Energy performance, energy efficiency, energy, buildings, offices, monitoring, simulation, infiltration, calibration

El sector de la construcción, motor de la economía española a lo largo de más de 50 años, está sufriendo una transformación estructural profunda. Además de estar sometido a una cura de adelgazamiento sin precedentes, se está produciendo asimismo un cambio de paradigma de gran alcance. En concreto, la edificación va a pasar de ser un sector donde el peso fundamental le corresponde a las viviendas nuevas a otro en el que la rehabilitación del parque edificado va a representar una parte relevante, sin duda, mayor del 50 % de la inversión en el mismo.

En este artículo analizamos la previsible evolución de los edificios de oficinas, tanto de nueva planta como existentes,

que están sometidos a una profunda transformación como consecuencia del mayor requerimiento de prestaciones energéticas que se viene produciendo en los últimos años y que previsiblemente va a continuar en el futuro.

1. Contexto energético y regulatorio de la edificación

Del consumo de energía final y de las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país, a la edificación le corresponden el 28 % y el 22 % respectivamente, correspondiendo el resto al transporte, a la industria y, en menor medida, al sector primario. Además, queda claro que el sector de la edificación junto con el del transporte son los que tienen un mayor potencial de reducción de ambos al estar las decisiones muy atomizadas,

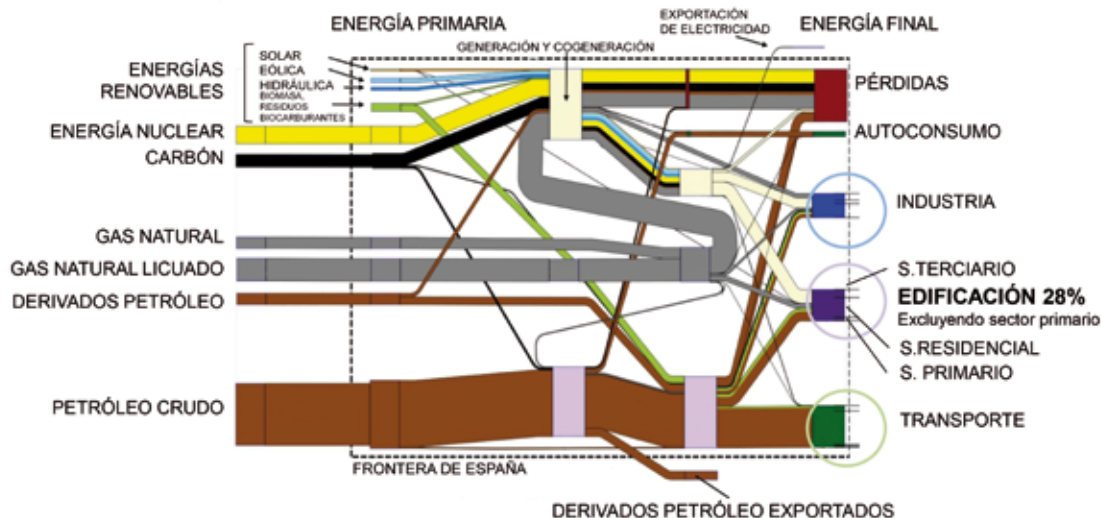


Fig. 1. La generación y el consumo de energía en España en 2011. Fuente: Observatorio de la energía y la sostenibilidad en España. Universidad Pontificia de Comillas

y con ello dependientes de múltiples agentes, y al no haber sido abordada esta cuestión con seriedad, recursos y objetivos ambiciosos hasta ahora. No es, por tanto, posible ninguna política energética ni climática en el futuro que no contemple estrategias, planes y medidas específicos para mejorar la eficiencia energética tanto de la nueva edificación, como, todavía en mayor medida, del parque edificado existente.

La superficie total construida en España a finales del año 2010 era de 2.600 millones de metros cuadrados (Fuente: BPIE, octubre 2011), de los que 2.250 km² corresponden a viviendas y 350 km² a edificios terciarios. La superficie construida de estos últimos se distribuye de la siguiente manera:

	Km ²	%
Oficinas	80	23
Comercio	75	21
Educativo	55	16
Hoteles y restaurantes	35	10
Hospitales	25	7
Instalaciones deportivas	10	3
Otros usos	70	20
Total	350	100

Tabla 1. Superficie construida por usos en España en 2010. Fuente: BPIE, 2011

Por otra parte, el consumo energético de los edificios de usos terciarios en España se ha multiplicado por cuatro en los últimos 30 años y representa alrededor del 30 % de la energía final consumida y el 38 % de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al total del sector de la edificación.

Del análisis de la energía final consumida y de la superficie construida se puede concluir que la edificación terciaria de oficinas tiene una intensidad energética por metro cuadrado construido unas ocho veces superior a la correspondiente en la edificación residencial. De ello se deriva la importancia de la aplicación de criterios de diseño que optimicen el consumo energético de los edificios de oficinas, así como de los condicionantes del mercado de este sector, con exigencias imperantes provenientes de tendencias internacionales del sector inmobiliario.

Por otra parte, los requisitos de prestaciones energéticas de la edificación en España están muy condicionados por la política energética y climática de la Unión Europea, cuyo marco legislativo está contenido en el denominado Paquete Verde –aprobado el 6 de abril de 2009 por el Consejo de la Unión Europea– y que consiste en un conjunto de Directivas y Normas con unos ambiciosos compromisos vinculantes para 2020 y que ha venido a conocerse como 20/20/20 (20 % de reducción de emisiones, 20 % de cuota de las energías renovables en la energía final y 20 % de mejora de la eficiencia energética, todo ello en 2020).

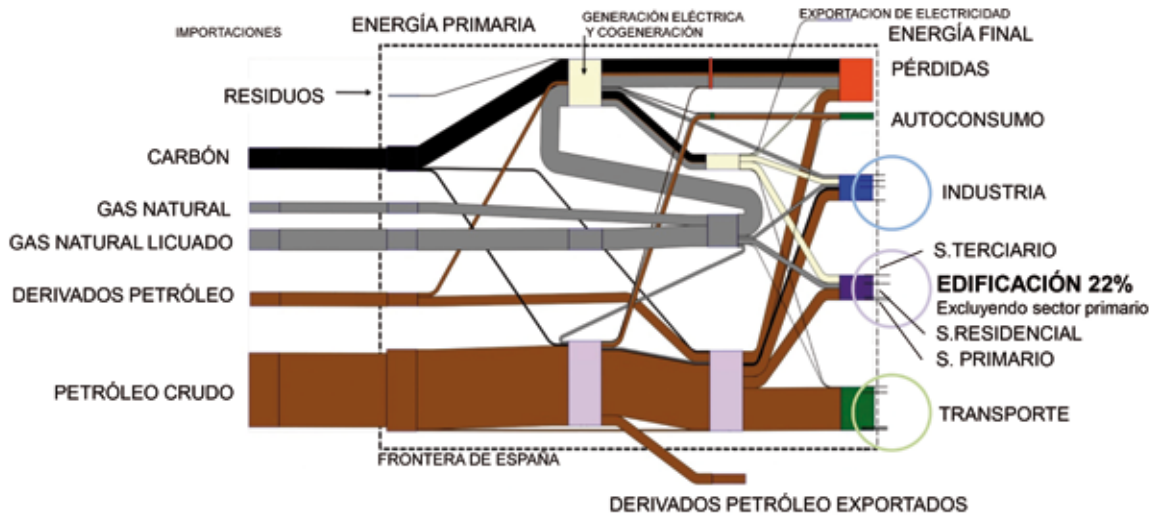


Fig. 2. Emisiones de CO₂ del sector de la energía en España en 2011. Fuente: Observatorio de la energía y la sostenibilidad en España. Universidad Pontificia de Comillas

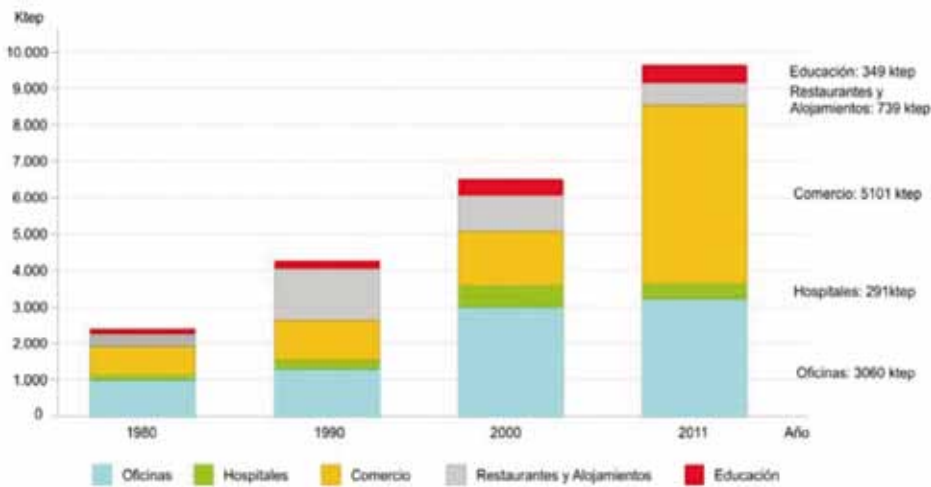


Fig. 3. Consumo de energía final de la edificación terciaria en España 1990-2011. Fuente: IDAE

Reducciones de GEI s/1990	2005	2030	2050
Total sectores	-7%	-40 a -44%	-79 a -82%
Electricidad (CO ₂)	-7%	-54 a -68%	-93 a -99%
Industria (CO ₂)	-20%	-34 a -40%	-83 a -87%
Transporte (incl. CO ₂ aviación. excl. marítimo)	+30%	+20 a -9%	-54 a -67%
Residencial y servicios (CO ₂)	-12%	-37 a -53%	-88 a -91%
Agricultura (ex-CO ₂)	-20%	-36 a 37%	-42 a -49%
Otras emisiones ex-CO ₂	-30%	-72 a 73%	-70 a -78%

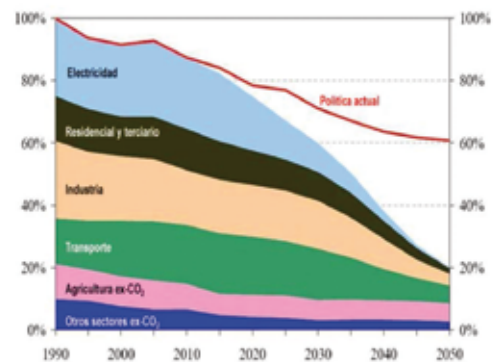


Fig. 4. Reducción de GEI en la UE por sectores con respecto a 1990. Fuente: Comisión Europea

Asimismo, a finales de enero de 2014 la Comisión Europea ha propuesto los objetivos concretos para 2030 dentro de su política energética y climática. Por un lado, ha confirmado la reducción del 40 % de las emisiones para 2030 que establecía su Hoja de Ruta de 2050, ha establecido un objetivo común de que las energías renovables alcancen un 27 % de la energía final, pero sin especificar objetivos por países, y ha establecido unas recomendaciones de buenas prácticas en las técnicas de perforación para la obtención del gas de esquisto. Por otra parte, no se ha establecido objetivo alguno para la mejora de la eficiencia energética en 2030.

En el marco de la política energética y climática contenida en el Paquete Verde, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea aprobaron el 19 de mayo de 2010 la Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética en la edificación. Dicha Directiva exige que todos los edificios de nueva construcción sean de consumo casi nulo de energía a partir del 1 de enero de 2021, obligación que se adelanta en dos años para los edificios de titularidad pública. Las normativas de los estados miembros deben establecer requisitos prestacionales de forma que el coste global de los edificios a lo largo del ciclo de vida sea mínimo. A estos efectos, el coste global debe incorporar tanto el coste de inversión como el de explotación y mantenimiento, debiendo deducir el valor residual, todo ello según el procedimiento recogido en el Reglamento publicado al efecto por la Comisión Europea en enero de 2012. Los requerimientos prestacionales para los edificios de consumo casi nulo de energía deben ser propuestos por cada uno de los estados miembros y deben ser validados por la Comisión Europea con el objeto de que los niveles de exigencia sean homogéneos por países.

Otra Directiva de gran relevancia para el parque edificado es la 2012/27/UE de eficiencia energética, publicada con el objeto de conseguir el cumplimiento de los objetivos del anteriormente mencionado Paquete Verde. En la misma se exige, a partir del 1 de enero de 2014, la rehabilitación anual de un 3 % del parque edificado cuya titularidad corresponda a la Administración Central, de forma que se cumpla con los requisitos establecidos en la Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética en la edificación.

Las dos Directivas europeas están en fase de trasposición a la legislación española. Asimismo, en 2013 se han publicado en nuestro país una serie de leyes y de requerimientos que van en esta dirección, como la Ley de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana, de 12 de abril de 2013, el Plan

Estatal de Fomento del Alquiler de Viviendas, Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana (2013-2016), de 5 de abril de 2013, y la Certificación Energética de Edificios, de 5 de abril de 2013. Mención aparte merece la revisión del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE en adelante), de 10 de septiembre de 2013; dicha revisión supone un salto cualitativo con respecto a los requerimientos del CTE 2006, de alrededor de un 30 % a un 35 % de reducción en la demanda energética de los edificios, habiéndose empleado por primera vez la metodología del coste global mínimo en la definición de las exigencias normativas.

2. Antecedentes del estudio

A pesar de las políticas comunitarias mencionadas y del contexto normativo derivado de las mismas, la profundidad e intensidad de la crisis económica y, muy específicamente, de la edificación en nuestro país ha hecho que se esté produciendo un creciente divorcio entre los requerimientos normativos, cada vez más exigentes, y la realidad del sector, de por sí históricamente poco dado a la evolución tecnológica y a la aplicación del conocimiento reciente.

Parecía, por tanto, de gran importancia poder disponer de un análisis de viabilidad técnica y de la repercusión en los costes que podrían suponer los crecientes requerimientos normativos en las prestaciones energéticas de los edificios con el objeto de que pudieran resultar de utilidad a los prescriptores, a los promotores de edificios y a los diferentes técnicos que intervienen tanto en el diseño como en la construcción de los inmuebles. Por otra parte, se decidió realizar el estudio sobre edificios de oficinas por su mayor intensidad energética con respecto a los edificios residenciales y sus condicionantes de mercado en un entorno muy competitivo y se centró el trabajo en la ciudad de Madrid, por su amplia disponibilidad de edificios de diferentes tipologías y por ser el mercado más importante de oficinas de nuestro país.

El estudio se ha denominado, de forma muy gráfica y autoexplicativa, 'Estudio de Optimización Energética de Edificios de Oficinas en Madrid', siendo su metodología y muchos de sus resultados aplicables a otras zonas climáticas. Ha sido patrocinado por los siguientes organismos públicos y empresas:

- Organismos públicos: IDAE y Ayuntamiento de Madrid.
- Empresas del sector de la energía: Gas Natural Fenosa y Remica.

- Empresas y asociaciones ligadas a la promoción inmobiliaria: DUCH, ARMN y ASPRIMA.
- Ingenierías y consultoras: TYPESA, LKS, Jones Lang Lasalle.
- Empresas de materiales de construcción: UPONOR y Yesos Ibéricos.

El trabajo ha sido coordinado por la ingeniería AIGUASOL, participando el estudio de arquitectura ALIA y habiendo contado con el asesoramiento de Servando Álvarez, catedrático de Termotecnia de la Universidad de Sevilla. Asimismo la Dirección Facultativa ha sido desempeñada por Luis Irastorza y la Dirección Técnica por Jordi Pascual, autores de este artículo.

El estudio, desarrollado entre el mes de septiembre de 2011 y el mes de diciembre de 2013, ha obtenido numerosos resultados y conclusiones relevantes, tanto de forma genérica como en cuestiones de detalle. En este artículo se pretende ofrecer sólo una pincelada de los mismos, y analizar con más detalle la problemática inherente a los edificios altos.

3. Objetivos del estudio

El objetivo principal del Estudio es el de determinar la viabilidad económica y técnica de los requerimientos energéticos prescritos en la normativa, así como servir de guía en la propia determinación de dichos requerimientos en la ruta hacia los edificios de consumo casi nulo de energía en el Horizonte 2020. Este objetivo principal se subdivide, a su vez, en los tres siguientes objetivos parciales:

- Determinar los costes de inversión y global a lo largo del ciclo de vida del edificio, así como la energía primaria consumida por el mismo, de un conjunto muy amplio de soluciones de envolvente y de instalaciones, de forma que permitan identificar los parámetros de diseño en las zonas de coste mínimo, tanto de inversión en la construcción como global, a lo largo del ciclo de vida. El análisis anterior se realiza para los requerimientos energéticos y los parámetros del edificio, tanto en base a los establecidos en el CTE como para los valores reales de operación medidos en la monitorización de los mismos (la primera opción es relevante para la definición de la normativa y la segunda para el inversor y el futuro usuario del edificio).
- Determinar los límites razonables de las prestaciones energéticas potencialmente exigibles a los edificios de oficinas

para conseguir edificios de consumo casi nulo de energía, considerando tanto el estado actual de la tecnología y de los costes como su previsible evolución en el futuro próximo. Se espera que ello pueda ser de utilidad para futuras revisiones del CTE.

- Desarrollar una metodología consistente que pueda ser aplicada para diseñar un edificio de coste global mínimo durante su ciclo de vida a partir de la estimación de los precios de la energía y de la tasa de actualización de los flujos financieros posteriores al momento de la inversión, así como estimar dicho coste y el consumo de energía previsto por usos y total.

4. Metodología y alcance

Resulta imprescindible describir, aunque sea someramente, la metodología del trabajo, tanto para la comprensión como para la credibilidad y solvencia de los resultados obtenidos en el mismo.

Con el fin de alcanzar los objetivos previstos, el proyecto se ha desarrollado en tres grandes fases de trabajo:

- Fase 1: caracterización de la problemática. En donde, en base a la selección, análisis detallado y valoración de edificios reales, se determina tanto la problemática real de los edificios de este uso en Madrid como la definición y caracterización de los escenarios de futuro a analizar y la calibración de las herramientas de simulación de los edificios.
- Fase 2: desarrollo metodológico y análisis escenarios CTE. En la que se ha desarrollado toda la metodología interna de cálculo, basada en el procedimiento de coste óptimo establecido por la Directiva Europea EPBD 2010, y se han definido y analizado los escenarios de futuro bajo condiciones normativas CTE 2013.
- Fase 3: análisis de escenarios de operación y gestión, de sistemas energéticos y análisis de sensibilidad. En donde se comparan escenarios en condiciones reales y optimizadas, se valoran distintas soluciones tecnológicas de sistemas energéticos y se lleva a cabo un análisis de sensibilidad en base a distintos escenarios de evolución de los precios de la energía y de la tasa de descuento.

Del trabajo realizado en estas tres fases, caben destacar algunos desarrollos y valoraciones específicas bien por su valor singular, bien por aportar información específica relevante.

En primera instancia y para la fase de caracterización de la problemática, se han seleccionado seis edificios de oficinas de Madrid, de reciente construcción (principalmente a partir del 2000) y que cubren un amplio abanico de soluciones de fachada. Más allá de los datos técnicos disponibles de los mismos, se ha monitorizado su comportamiento en zonas características mediante sondas de temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad, temperaturas de impulsión y condiciones exteriores. Dichos datos se han obtenido cada diez minutos durante un período de ocho meses. Igualmente, se han llevado a cabo pruebas de infiltración mediante el ensayo de puerta soplante hasta conseguir una sobrepresión y una depresión de 50 pascales en el interior del edificio. A partir de los caudales de aire necesarios para conseguir estas sobrepresiones y depresiones y mediante la aplicación de la metodología de Sherman-Grimsrud, recomendada por ASHRAE, es posible caracterizar la envolvente mediante la superficie de infiltración equivalente (ELA, *Equivalent Leakage Area*), que se mide en cm² de hueco equivalente por m² de envolvente. Todo ello ha permitido la constatación fehaciente de problemáticas energéticas, siendo, igualmente, parte fundamental de la calibración de las herramientas de análisis.

En este sentido, se considera relevante destacar el uso de las herramientas TRNSYS (simulación térmica) y DaySim (simulación lumínica) de forma acoplada para considerar las interrelaciones entre consumos térmicos y lumínicos de los edificios. Ambas herramientas son referentes a nivel mundial (TRNSYS cumple con el estándar 140-2007, y es una de las herramientas validadas por la Agencia Internacional de la Energía, mientras que DaySim, desarrollado por Departamento de Energía de EE. UU. y el Gobierno Federal de Suiza, goza de prestigio internacional). La calibración de ambas, según los resultados de las mediciones, se ha llevado a cabo mediante complejas técnicas de análisis de sensibilidad estadístico, habiendo conseguido finalmente desviaciones inferiores al 3 % anual.

En la segunda fase, se han definido las distintas soluciones cuya combinatoria establece los escenarios de análisis. En concreto:

- Diez tipos de fachadas, que se pueden agrupar en las siguientes cuatro familias: 1) fachada opaca con porcentaje de huecos inferior al 60 %, 2) fachada opaca con porcentaje de huecos superior al 60 %, 3) muro cortina acristalado y 4) fachada de doble piel.

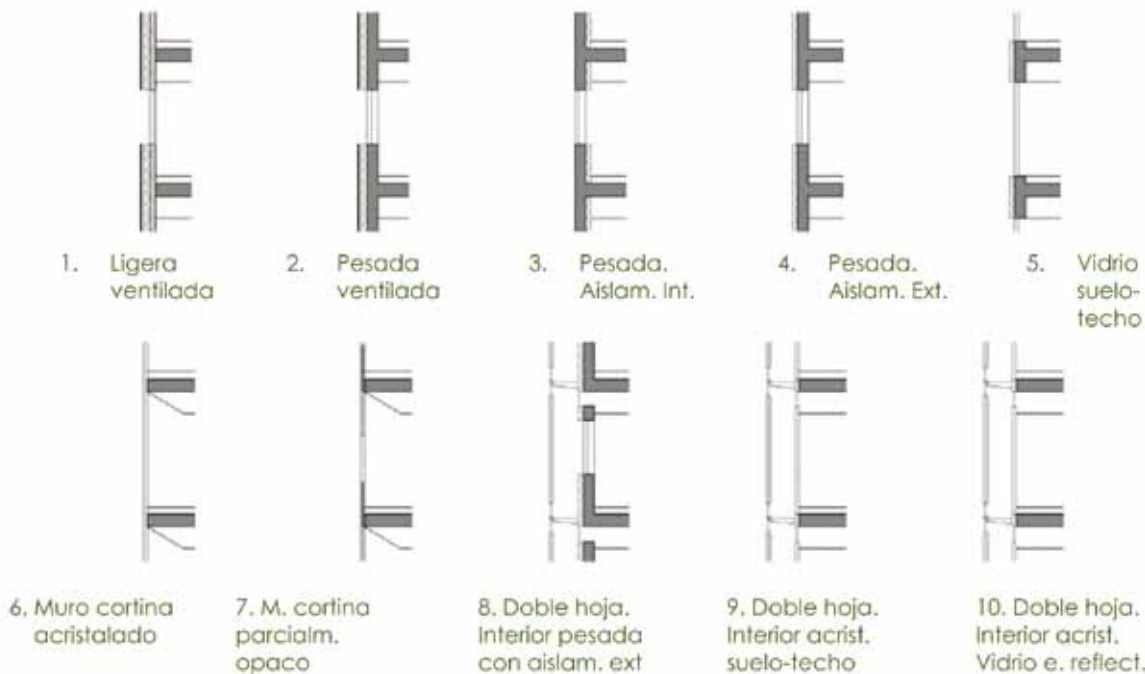


Fig. 5.
Esquema y descripción de los 10 tipos de fachadas

- Altura del edificio: urbano (seis plantas) y en altura (12 plantas).
- Planta del edificio: cuadrado o rectangular (pastilla).
- Inercia del edificio: ligero o pesado.
- Porcentaje de huecos en fachada: del 30 % al 85 %.
- Diferentes tipologías de vidrios.
- Diferentes tipologías de elementos de sombra.
- Diferentes orientaciones del edificio.
- Sistemas de climatización:

o Generación. Se analizan los cuatro sistemas siguientes: 1) caldera de condensación y enfriadora, 2) sistema de caudal variable con motor térmico mediante gas, 3) bomba de calor eléctrica y 4) central de distrito mediante gas con cogeneración.

o Emisión. Se analizan los dos sistemas siguientes: 1) sistema convectivo mediante 'fan-coils' y 2) sistema de suelo radiante.

Igualmente, y considerando que el análisis requiere de la evaluación energética y económica de los escenarios de estudio, ha sido necesario definir los costes de construcción, de los sistemas, de la operación y mantenimiento del edificio y de la energía. Los mismos se basan en:

- Envoltente. Se han utilizado las siguientes fuentes de información: 1) generador de precios de la construcción de CYPE Ingenieros; 2) base de precios PREOC 2012; 3) base de precios BEDEC, del Instituto Tecnológico de la Construcción de Catalunya; 4) base de datos del estudio de arquitectura ALIA; y 5) datos facilitados por fabricantes de componentes.
- Sistemas, operación y mantenimiento del edificio: Se ha utilizado información suministrada por Gas Natural, LKS, Ortiz, TYPESA, IG, AICIA, FCC, UPONOR y AIGUASOL.
- Energía: se han tomado los precios de los diferentes combustibles y su evolución estimada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Se esquematiza el procedimiento de cálculo utilizado en el siguiente esquema:

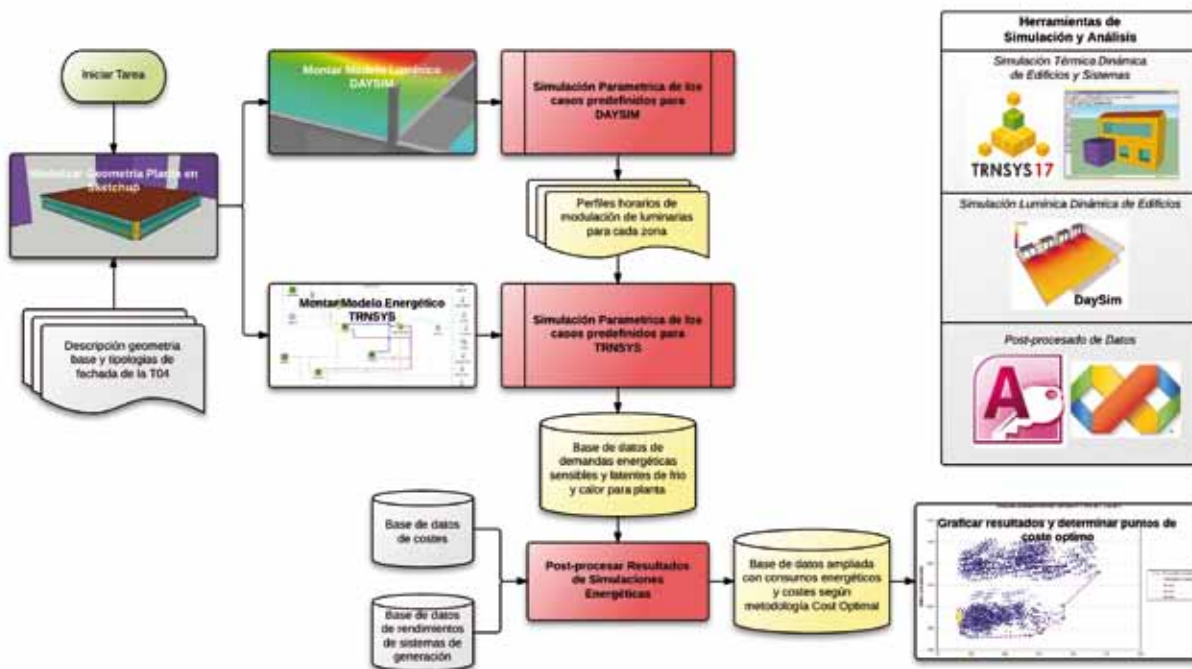


Fig. 6. Esquema del procedimiento de cálculo

En este contexto, se han obtenido los resultados del análisis de más de 12.000 escenarios (edificios a lo largo de su vida útil) bajo condiciones normativas (CTE 2013), desde las siguientes perspectivas:

- **Análisis financiero:** se consideran tanto los costes de inversión como los de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del edificio y se deduce el valor residual del mismo al cabo de 20 años, aplicando una tasa de actualización del 3 % para llevar al momento inicial de la inversión los flujos financieros producidos con posterioridad.
- **Análisis macroeconómico:** igual que el análisis financiero pero incrementando los costes con el precio de las emisiones de CO₂ a lo largo de los 20 años de vida útil del edificio que estima la Comisión Europea.
- **Análisis de inversión:** únicamente se consideran los costes de construcción del edificio, es decir, no se consideran los costes de operación y mantenimiento ni el valor residual del mismo.

En la tercera y última fase, se han analizado distintos modelos de operación y gestión de los edificios, considerando tanto las condiciones reales de operación de los mismos (obtenidas de la caracterización inicial del proyecto mediante la monitorización) como de medidas de optimización básica propuestas (elementos domóticos de sombra y de control de

la ventilación, control de la infiltración y sistemas eficientes de iluminación). Igualmente, se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad de las siguientes variables:

- Evolución del precio de las diferentes fuentes de energía: gasóleo, gas natural, GLP y electricidad.
- Variación de la tasa de actualización entre el 2 % y el 7 % (la central es el 3 %).

El estudio finaliza con la valoración de los límites del mismo, en base a la definición de soluciones optimizadas por variaciones cruzadas de elementos según orientaciones y en unas condiciones optimizadas de operación del edificio.

5. Resultados generales

Durante el desarrollo del proyecto se han obtenido múltiples resultados de temas específicos, como el impacto de la operación real de los edificios en la factura energética o la afectación de la infiltración del aire exterior en el consumo energético de los edificios. La mayor parte de ellos queda incluida, de forma inherente, en los resultados finales, de los que se muestran los que tienen una orientación general, sin entrar en los análisis paramétricos.

En base a la metodología de coste óptimo, se representan los resultados en gráficas en cuyo eje X se recoge el consumo de energía primaria (KWh/m²año) –lo que requiere la

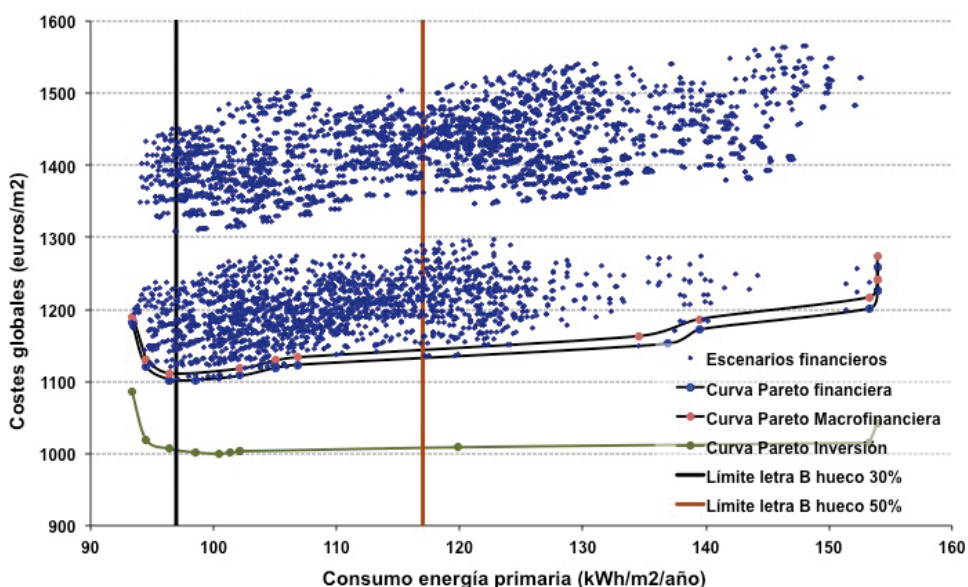


Fig. 7. Análisis de coste óptimo según condiciones CTE. Escenarios financieros y curvas de Pareto financieras, macroeconómicas y de inversión

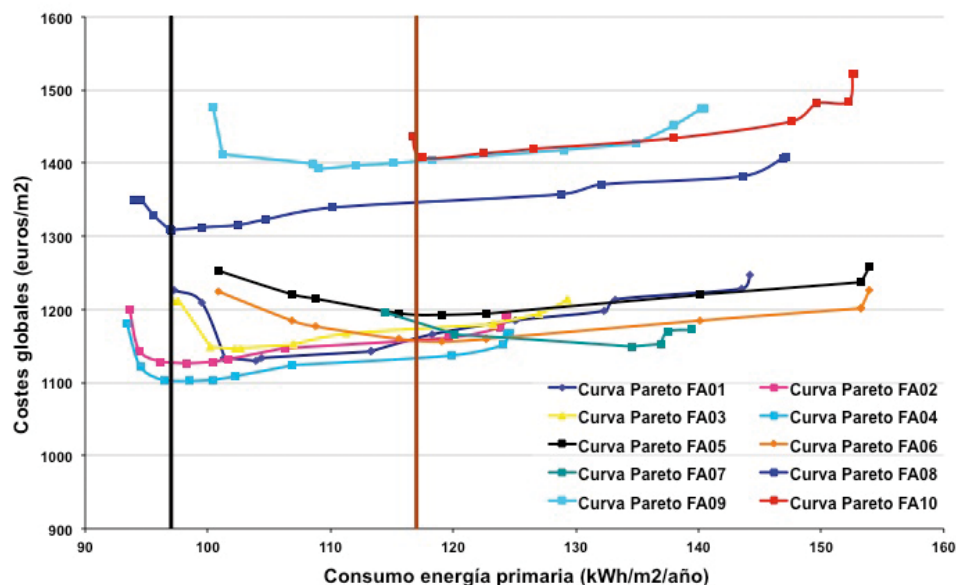


Fig. 8. Curvas de Pareto de los escenarios agrupadas según tipología de fachada en condiciones normativas CTE 2013

transformación de las demandas de energía a consumo de energía primaria mediante los consiguientes coeficientes de paso de una a otra— y en el eje Y el coste global a lo largo del ciclo de vida del edificio (€/m²) para los análisis financiero y macroeconómico (considerando también el coste de las emisiones) o bien únicamente el de construcción (para el análisis de inversión). Cada uno de los puntos representa el resultado de consumo de energía primaria—coste global de un edificio de características concretas en todo su ciclo de vida.

En el gráfico siguiente se incluyen las dos referencias normativas (líneas verticales), que deben interpretarse considerando que todos los escenarios (puntos) que queden a la derecha de la línea roja (límite letra B hueco 50 %) representan edificios que no cumplirán el CTE. Los escenarios entre los dos límites pueden cumplir con los requisitos normativos, mientras que los que quedan a la izquierda del límite inferior (línea negra o límite letra B hueco 30 %) serán edificios con calificación energética B o A. Igualmente, y junto a la valoración financiera de los escenarios, se representan las curvas envolventes de todos los puntos (curvas de Pareto) tanto de los casos financieros como macroeconómicos y de inversión (sin representar todos los escenarios en estos dos últimos casos, para facilitar la lectura de resultados). Dichas curvas resultan relevantes puesto que son las que marcan la envolvente de costes mínimos para los distintos consumos de energía primaria. Finalmente se indican las regiones de interés, que se en-

tienden como las tres regiones en donde se encuentran edificios con consumos máximos de energía primaria, los de mínimos en costes y los que tienen asociados consumos de energía mínimos.

Del análisis destaca, en primera instancia, la distribución de puntos a lo largo del eje de consumo de energía primaria, que comporta que muchos de los escenarios queden fuera de las referencias normativas. Ello es un indicativo de la complejidad de alcanzar los nuevos límites impuestos en el CTE 2013 y una referencia de las restricciones previstas para 2020. Igualmente es posible constatar cómo bajar de la región de consumos máximos (sobre los 154 kWh/m²·año) a la de los costes mínimos (con consumos de energía primaria asociados del orden de 97 kWh/m²·año) representa un ahorro de más de 150 €/m² en costes de análisis financiero, e incluso de más de 42 €/m² en costes de análisis de inversión. En este sentido, resulta relevante destacar que la inversión supone entre el 75 % y 80 % de los costes globales.

Igualmente resulta destacable la agrupación de los resultados de los diferentes escenarios en dos franjas claramente diferenciadas a nivel de costes, aunque no de consumos. De uno de los análisis paramétricos se constata que este agrupamiento es un reflejo de las tipologías de fachadas analizadas. Efectivamente, se observa una clara distinción entre las fachadas de diseño más convencional y las fachadas tipo muro cortina (costes globales más bajos) con

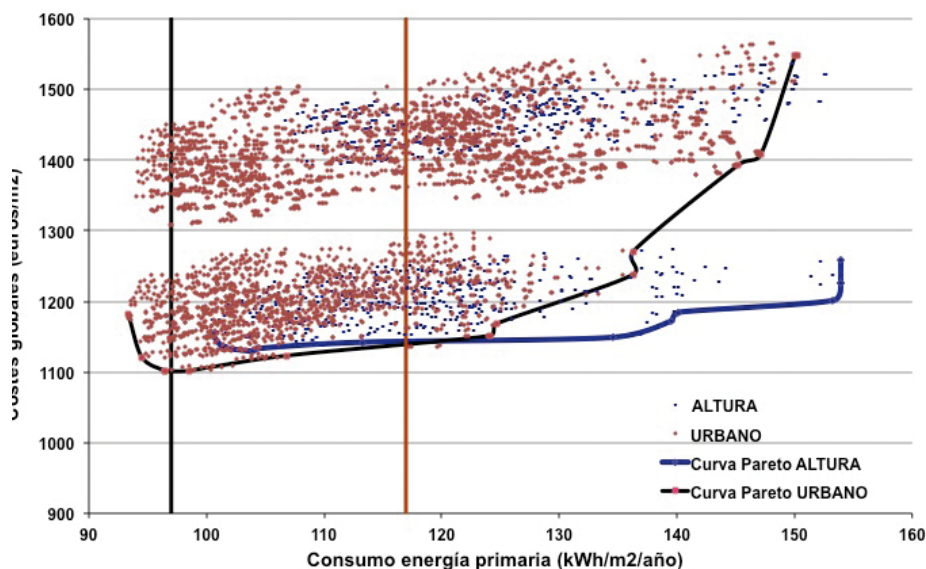


Fig. 9. Análisis financiero en condiciones CTE según altura (entorno) de los edificios

respecto a las fachadas de doble hoja (costes globales más elevados).

En el gráfico anterior es posible verificar cómo las fachadas de doble hoja (FA08, FA09 y FA10) quedan asociadas claramente a unos costes globales significativamente más elevados, independientemente de las variaciones del resto de parámetros analizados (por ejemplo, proporción de hueco o tipo de vidrio).

6. Resultados específicos de edificios altos

El estudio presentado ha analizado la variable altura de los edificios en detalle; ello se ha hecho considerando escenarios de edificios bajos (planta baja+5) y edificios en altura (planta baja+11), con las variaciones pertinentes en costes de inversión. Aunque no se han considerado casos de mayor altura, por valorarse que estos son casos singulares a analizar uno a uno, sí que se considera, por lo mostrado a continuación, que las tendencias de los edificios en altura analizados en este estudio se reproducirán en casos de torres de altura superior.

Del análisis en detalle de los edificios en altura, se observa que los mismos se caracterizan por unos costes globales con una mayor dispersión que los de los denominados urbanos o bajos y unos consumos energéticos más concentrados, pero ligeramente mayores que aquellos. Ello se puede constatar de forma fehaciente en un análisis estadístico de los resul-

tados. Del análisis de estos datos, se concluye que estas tendencias derivan de:

- i. Límites estructurales. En el análisis se considera la viabilidad estructural de las distintas soluciones tipológicas de fachadas. De esta forma, los edificios en altura no consideran soluciones pesadas inerciales que, del análisis previo, pasan por ser las de mejor relación coste-consumo. En cambio, los edificios en altura quedan representados por soluciones más ligeras y, a menudo, en base a muros cortina o dobles hojas.
- ii. Condiciones de entorno. Los edificios en altura tienen una mayor exposición a las condiciones climáticas ambientales, lo que incrementa los requisitos para alcanzar las condiciones de confort interior. En este sentido, no se producen las atenuaciones de temperatura, regímenes de viento y sombreados que se dan en edificios bajos.
- iii. Infiltración. Derivado de los anteriores, pero remarcable por sí mismo, los efectos de la infiltración en edificios en altura tienen un impacto considerable en los consumos energéticos asociados al uso de los mismos. La infiltración, que se muestra como un factor predominante en el consumo energético de los edificios, depende de la ejecución en obra de las soluciones de piel (más relevante en soluciones menos convencionales) y de las condiciones exteriores (temperatura y regímenes de viento). En edificios en altura, se suelen dar estos dos condicionantes amplificadores.

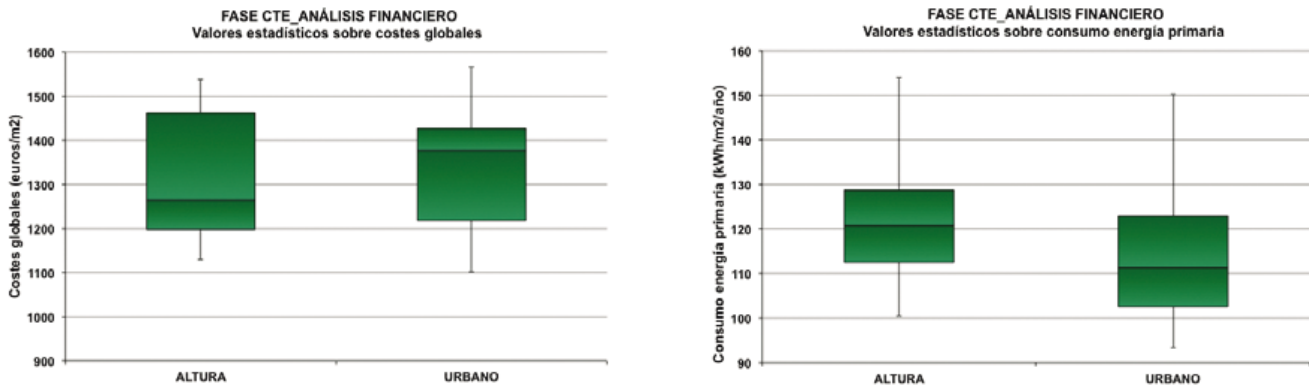


Fig. 10. Análisis estadístico (valores máximos, mínimos y percentiles del 25 %, 50 % y 75 %) de costes (izda.) y consumos energéticos (dcha.)

Destacar, igualmente, que en las regiones de interés analizadas de mínimo coste económico y mínimo consumo energético resulta estadísticamente difícil encontrar edificios en altura.

7. Invariabilidad de tendencias

Aunque en el presente artículo sólo se muestra una pincelada de los resultados obtenidos, cabe destacar que, de los análisis mostrados, se han analizado otras variaciones en función de los sistemas energéticos, las condiciones de operación y gestión, y la evolución de los precios de la energía y de la tasa de descuento.

De estos destacan,

i. Condiciones de operación y gestión. El cálculo de los mismos escenarios según distintas condiciones de operación y

gestión (temperaturas de consigna, régimen de ocupación interna, implementación de elementos domóticos, optimización de iluminación, etc.) deriva en variaciones significativas tanto en los consumos energéticos como en los costes económicos.

ii. Análisis de sensibilidad de precios y tasas de descuento. Del análisis de distintos escenarios de evolución tanto de los precios de la energía como del valor de la tasa de descuento, deriva una mayor relevancia de esta última respecto a los precios, y una invariabilidad de valores relativos y tendencias observadas por parámetros.

En cualquiera de los casos, sin embargo, las tendencias observadas para los edificios en altura se mantienen, produciéndose variaciones en los valores absolutos pero no en las conclusiones relativas.

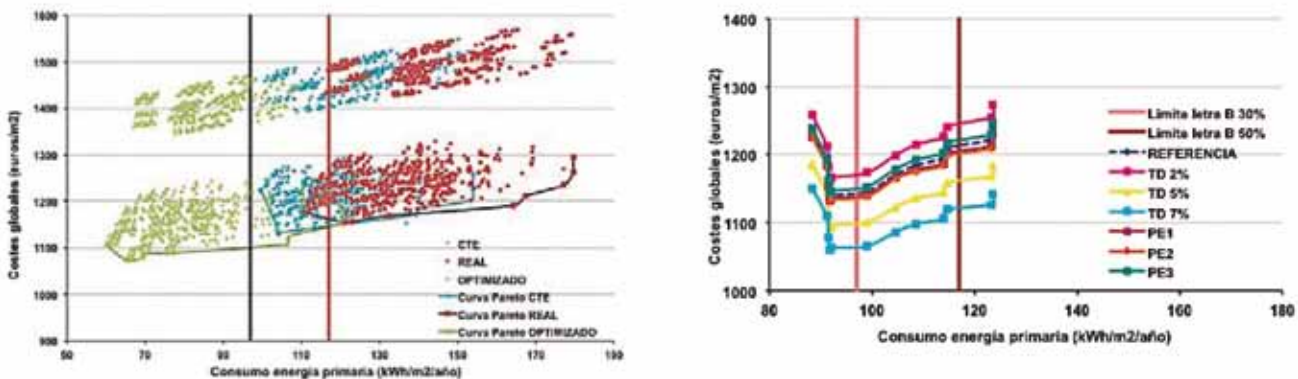


Fig. 11. Variación de comportamiento en función de las condiciones de operación y gestión (CTE azul, REAL rojo y ÓPTIMO verde) para los escenarios analizados (izda.) y variaciones de los resultados para los escenarios de referencia de la curva de Pareto en condiciones CTE según escenarios de evolución de los precios de la energía y de la tasa de descuento (dcha.)

8. Conclusiones

El estudio ofrece múltiples conclusiones específicas que merecen, en un análisis más profundo de los resultados, ser detalladas y aplicadas directamente o en otros estudios sectoriales. Sin embargo, se ha considerado prioritario desarrollar un trabajo de síntesis sistémica que permita adquirir una visión global desde la que determinar las principales conclusiones del proyecto. Las mismas se deben circunscribir al ámbito concreto del análisis, los edificios de uso oficinas para el ámbito de Madrid, si bien es cierto que se considera que gran parte de las conclusiones podrían ser razonablemente válidas para otras tipologías de uso terciario y en otras zonas climáticas de la geografía peninsular.

Así se sintetizan cuatro grandes conclusiones que se consideran prioritarias en este contexto:

i. Es perfectamente viable construir edificios de oficinas de consumos energéticos reducidos a unos costes globales significativamente inferiores con respecto a los edificios efectivamente construidos en los últimos años, en las condiciones actuales, de conformidad a las capacidades del sector, conocimientos técnicos y tecnología disponible en el mercado. Esto es, considerando que los edificios de oficinas construidos en los últimos años tienen consumos asociados –calefacción, refrigeración e iluminación– superiores a los 150 kWh/m²año, se pueden reducir los mismos a alrededor de 60 kWh/m²año, en edificaciones con un rango de costes globales en el análisis financiero –costes de construcción y de operación y mantenimiento a lo largo de los 20 años de vida útil del edificio menos el valor residual, en valores actualizados– entre los 1.100 y 1.200 €/m². Estos valores pueden verse reducidos en el diseño en detalle edificio a edificio.

ii. Construir edificios de oficinas energéticamente eficientes a costes óptimos resulta más económico, considerando tanto los costes globales de todo el ciclo de vida como los costes de inversión. Efectivamente, pasar de un edificio gran consumidor a otro en una horquilla de entre 50 a 100 kWh/m²año resulta un ahorro económico de más del 4 % de la inversión inicial, sin entrar a considerar los ahorros en la factura energética u otros conceptos del ciclo de vida.

iii. Los principales elementos a considerar en los edificios eficientes, en costes y energía, son el diseño arquitectónico y constructivo y la operación en su vida útil, siendo la consideración del sistema energético el factor de menor

peso. A nivel de costes económicos, el factor predominante es el diseño de la edificación con un peso tres veces más relevante que la operación en la vida útil o los sistemas energéticos. A nivel de consumo de energía y en escenarios conservadores, la correcta operación del edificio tiene un peso casi tres veces superior al diseño arquitectónico y constructivo del mismo y casi 9 veces superior al sistema de energía propuesto.

iv. Los edificios en altura (sin valorar las torres singulares) son económicamente más caros y energéticamente menos eficientes que los edificios bajos. Ello deriva, en gran medida, de los condicionantes arquitectónicos y constructivos, aunque también de las condiciones ambientales del entorno, más cuando existan patologías de la construcción. No se entra a considerar, sin embargo, otros factores que pueden influir en el comportamiento, más relacionados con cuestiones urbanísticas.

El análisis de sensibilidad muestra que las variaciones en la evolución de los precios de la energía y de la tasa de descuento pueden hacer variar los valores pero no las tendencias establecidas. **ROP**