



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Evaluación de modelos de demanda en la edificación que minimicen la generación de emisiones de CO2 en el aprovechamiento de la oferta de sistemas de alta eficiencia energética : adecuación de la demanda

Georgina Rendón Poujol

ADVERTIMENT La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Evaluación de Modelos de Demanda en la Edificación que
minimicen la generación de emisiones de CO₂ en el
aprovechamiento de la Oferta de sistemas de Alta Eficiencia Energética

Adecuación de la Demanda

Tesis Doctoral

Georgina Rendón Poujol

Doctoranda

Albert Cuchí Burgos

Tutor y director

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Departament de Construccions Arquitectòniques I
Programa Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

CONTENIDO

RESUMEN	I
1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y OBJETIVOS	1
2. ESTRUCTURA DE LA TESIS	5
2.1. <i>Introducción</i>	5
2.2. <i>Estado del Arte</i>	9
2.3. <i>Metodología</i>	22
2.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA	22
2.3.1. ACOPLAMIENTO: ESCENARIOS ENERGÉTICOS. IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS	22
3. CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA	26
3.1. <i>Introducción</i>	26
3.2. <i>Parámetros de la Oferta</i>	29
3.2.1. RELACION ELECTRCIDAD CALOR E/Q	29
3.2.2. MODELACION Y DETERMINACION DE LA ESCALA ÓPTIMA DE LOS SISTEMAS	31
3.2.3. DISMINUCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES	31
3.3. <i>Aplicación</i>	32
3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIA DE LA OFERTA ENERGÉTICA ACTUALMENTE DISPONIBLE	32
3.3.1.1. SISTEMAS PARA BLOQUES DE VIVIENDAS Y ESCALA MEDIA	38
3.3.1.2. SISTEMAS PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR O EDIFICIO PLURIFAMILIAR	73
3.3. <i>Evolución de los Escenarios de la Oferta Energética</i>	87
3.4. <i>Discusión</i>	94

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA FINAL DE LOS EDIFICIOS DEL SECTOR	
4. RESIDENCIAL Y LOS PRINCIPALES FACTORES SIMPLICADOS	99
4.1. <i>Introducción...</i>	99
4.2. <i>Parámetros de la demanda...</i>	104
4.2.1 RELACIÓN ELECTRICIDAD CALOR	106
4.2.2 MODELACION Y DETERMINACION DE LA ESCALA OPTIMA DE LOS SISTEMAS	107
4.3. <i>Demanda Energética Actual ...</i>	109
4.4. <i>Evolución de la Demanda Energética</i>	123
4.5. <i>Discusión...</i>	131
5. ACOPLAMIENTO. ESCENARIOS ENERGÉTICOS E IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS	136
5.1 <i>Introducción...</i>	136
5.2 <i>Rango de posibles Escenarios Energéticos dentro del ámbito de la Edificación</i>	138
5.3 <i>Evaluación de los Factores que provocan los desfases entre oferta y demanda</i>	138
5.4 <i>Análisis del Potencial de Acoplamiento de los sistemas y la demanda de energía</i>	139
5.5 <i>Algunas consideraciones sobre el efecto del aprovechamiento de la energía térmica generada por la oferta "altamente eficiente"...</i>	139
5.6. <i>Identificación de Estrategias de Acoplamiento en la Edificación</i>	153
5.6.1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN	153
5.6.2 ESTRATEGIAS DE ACOPLAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN BASADAS EN LA GESTION COLECTIVA DE LA DEMANDA MEDIANTE LA ARTICULACIÓN DEL PERFIL F/O	164
5.7 <i>Identificación de Estrategias de Gestión de la demanda energética a escala de barrio</i>	171
5.8 <i>Discusión...</i>	180
6. CONCLUSIONES	186
ANEXOS	

RESUMEN.

Para hacer frente al desequilibrio ambiental del que es parte activa el modelo de demanda actual del sector de la edificación, el enfoque de esta investigación es sugerir una respuesta para un uso más eficiente y sostenible de los recursos energéticos. Por tal motivo el objetivo principal de este estudio es la determinación de la escala adecuada de los modelos de demanda para obtener el escenario óptimo que asegure la minimización de emisiones de CO₂ en la edificación.

La optimización de la escala de la eficiencia en la edificación se obtendrá mediante la determinación del margen de aprovechamiento energético de diversos escenarios, propiciados por los modelos de la oferta de sistemas alternativos altamente eficientes₂ y actualmente disponibles.

La determinación de los escenarios se llevara a cabo bajo la consideración de los parámetros que establecen la relación de oferta eléctrica y térmica $[E/Q]$, así como el rango de potencia disponible $[kW_e]$. Mediante la estimación de los límites de variación de estos parámetros, se pretende determinar los rangos que condicionan las opciones de demanda altamente eficientes y que posibilitan escenarios de baja emisividad $[kgCO_2/kWh_e]$.

En la determinación de los escenarios para el sector de la edificación, se han considerado distintos modelos de demanda sujetos a situaciones y necesidades específicas. La vivienda unifamiliar, el conjunto de edificios, la escala intermedia a nivel de barrios, hasta llegar a la aplicación de criterios y estrategias en unidades territoriales más extensas, conformándose así escenarios de demanda energética ⁽¹⁾ con una escala amplia y variada, que serán evaluados de acuerdo a los factores que permiten predecir el potencial de reducción de emisiones de CO₂

La obtención de un óptimo acoplamiento $[A]$ entre los niveles de demanda y oferta implicará la implementación de estrategias que, mediante un planteamiento coherente e innovador de la edificación, permita establecer la dimensión óptima de la demanda energética.

Dicho planteamiento podría evidenciar la necesidad de proceder sobre distintos ámbitos del sector energético, abordar nuevos conceptos de control y gestión de la demanda e investigar alternativas de almacenamiento de energía como una medida fundamental para lograr la escala que permita reconducir al escenario energético de la edificación hacia modelos menos intensivos en emisiones de CO₂

Nomenclatura

E	Energía Eléctrica
Q	Energía Térmica
E/Q	Relación Electricidad calor
kW _e	Potencia (kilovatio de energía eléctrica)
kgCO ₂ /kW _h _e	kilogramo de dióxido de carbono por kilovatio-hora de energía eléctrica usado
A	Acoplamiento entre oferta y demanda energética eléctrica
RES	Fuentes de energía Renovable
SHP	Producción por separado de energía eléctrica y térmica
CHP	Producción combinada de energía eléctrica y térmica
μCHP	Micro cogeneración (producción combinada de energía eléctrica y térmica)
DH	Calefacción Urbana (District Heating)
DH&C	Calefacción y refrigeración urbana (District Heating and cooling)
CCHP	Trigeneración (Cogeneración, Calefacción y refrigeración urbana)
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RUE	Uso racional de energía
ASETE	Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica Estacional
MCF	Materiales de Cambio de Fase
CSHPSS	District Heating, CHP, Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica Estacional
ORC	Ciclo orgánico de Rankine
HP	Bomba de calor

Capítulo **1**

Introducción general y objetivos

En los últimos años se han llevado a cabo en Europa y en el resto del mundo diversos proyectos de investigación, desarrollo e innovación para optimizar la oferta de energía frente a las emisiones de CO₂ que lleva asociadas. Esos proyectos anuncian un gran potencial basado en introducir nuevos componentes, técnicas y soluciones que permiten incrementar los niveles de eficiencia energética y de emisiones en la generación, distribución y almacenamiento de energía configurando alternativas solventes a la oferta energética actual frente al reto del cambio climático.

Estas alternativas muestran una clara tendencia tanto a la descentralización de la producción mediante sistemas RES (Sistemas basados en fuentes de energía renovable) y CHP (Proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica), lo que permite un elevado potencial de reducción de emisiones de CO₂ por unidad de energía servida. Ese cambio hacia la descentralización supone un cambio de sentido respecto a la tendencia a la centralización sistemática de la producción de energía del modelo de oferta energética actual.

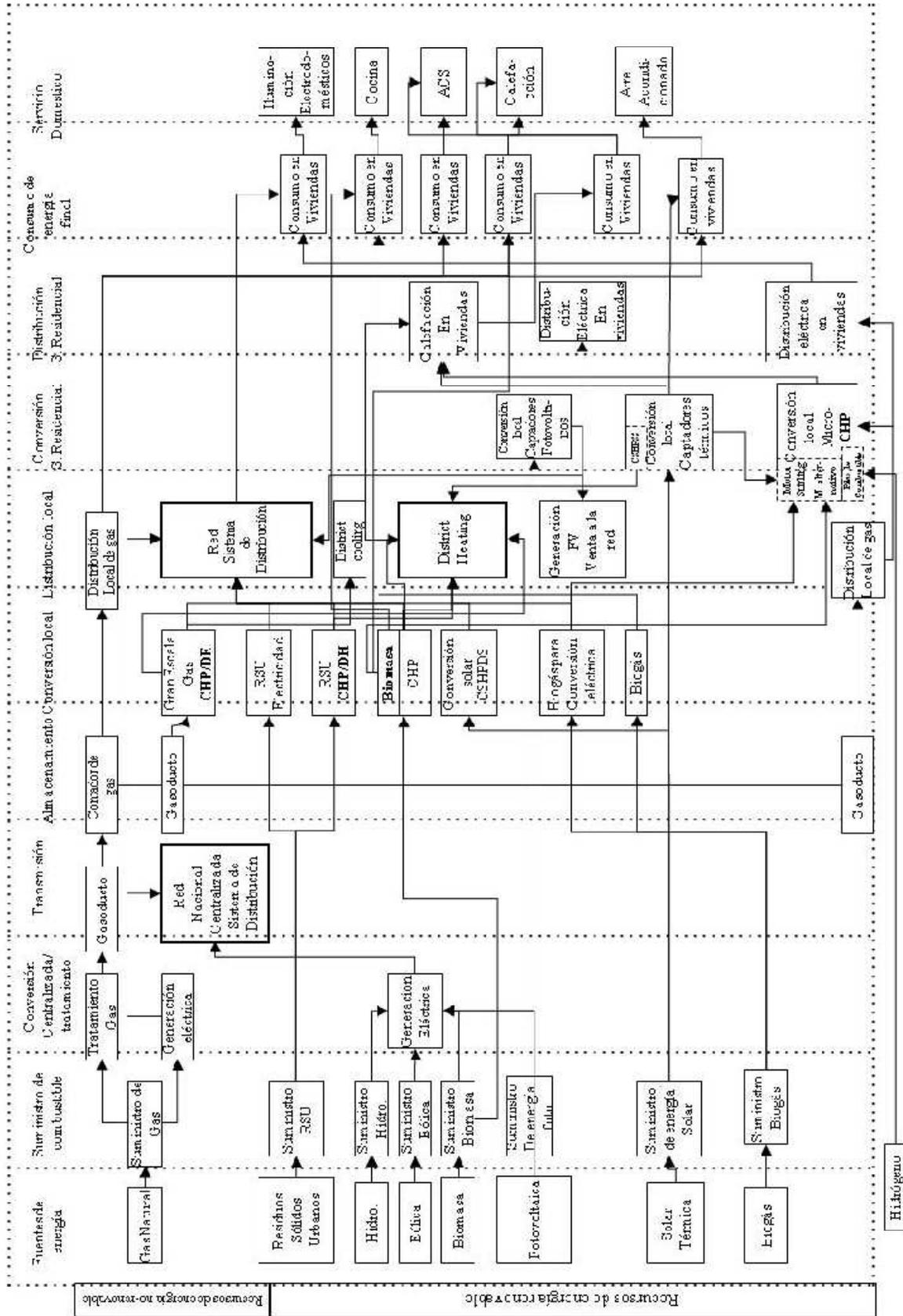


Figura 1.1 El Sistema de Referencia Energética

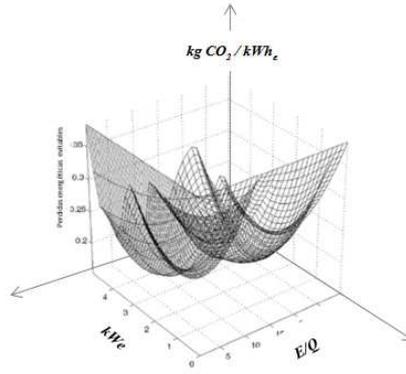
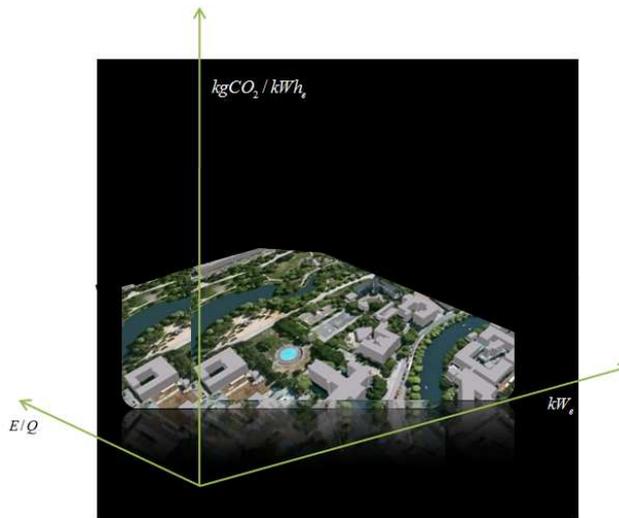


Figura 1.2. Estos tres parámetros establecen los ejes sobre los que podemos dibujar las curvas que definen cada módulo de la oferta.

Pero poder aprovechar esas ofertas de energía exige disponer de una demanda que se acople a las características específicas de esa nueva oferta energética, una demanda que también disponga de nuevos componentes, técnicas y soluciones que se dirijan también a incrementar la oferta energética, que tenga las características adecuadas para acoplarse a esa oferta altamente eficiente manteniendo esa eficiencia y ayudando a mejorar la eficiencia global del sistema energético.

El consumo de energía en los edificios supone en Europa alrededor del 40% de la energía final y en España del 30%. Ello hace que supongan una parte extremadamente significativa de la demanda final y, por ello, tenga una importancia radical en la configuración de una demanda dirigida a aprovechar con el máximo de eficiencia la nueva oferta energética.



Ajustar la demanda de la edificación a la nueva oferta energética eficiente que se está configurando implica dar respuesta a una serie de cuestiones:

¿Cuál es la escala adecuada de los modelos de demanda de la edificación que permitiría obtener el escenario óptimo que asegure la minimización de emisiones de CO₂? ¿Es la escala del edificio, que es la escala a la que la normativa dirigida a la eficiencia energética se está orientando de forma sistemática?

¿Cuáles son los factores significativos en la oferta energética que sean útiles para definir una demanda adecuada y su acoplamiento? ¿Qué aspectos de cada una de las soluciones tecnológicas de la oferta son relevantes, y cómo deben ser considerados? ¿Cómo, en definitiva, caracterizar la oferta energética eficiente para acoplarla a la demanda de la edificación?

Y, a la inversa, ¿Cuáles son los factores determinantes en la demanda para permitir maximizar el aprovechamiento de la oferta eficiente? ¿Qué aspectos son determinantes en cada una de las demandas y de los sistemas técnicos, y cómo considerarlos? ¿Cómo, en definitiva, caracterizar una demanda energética en edificación que aproveche al máximo la eficiencia de una oferta muy afinada?

Frente al necesario acoplamiento entre oferta y demanda, ¿cuáles son los escenarios posibles? ¿Cuáles los inmediatos y qué posible evolución futura con el desarrollo de las diferentes técnicas? ¿Cuáles son las estrategias determinantes para conseguir ese acoplamiento? ¿Qué factores pueden incidir en ello y cómo deberían evolucionar?

El objetivo de la presente tesis es dar respuesta a esas cuestiones. Dar una respuesta que permita no tanto aportar soluciones definitivas sobre la cuestión, sino definir el campo de juego y establecer algunas certezas que nos permitan organizar una nueva visión para intervenir en el sector de la edificación de la forma más pertinente para conseguir el necesario acoplamiento con esas ofertas energéticas ambientalmente eficientes.

Tampoco se trata de un trabajo de ingeniería o de innovación. De lo que se trata es de 'leer' esas ofertas tecnológicas con la visión más adecuada para trabajar sobre la eficiencia del sector de la edificación para acoplarse a ella. El objetivo es encontrar las claves que permitan entender el problema energético a escala del sector de la forma más solvente, liberándose de los prejuicios de una demanda criada bajo un modelo de oferta radicalmente diferente.

Responder a las cuestiones planteadas va a evidenciar la necesidad de reflexionar sobre el planteamiento de nuevos enfoques en la edificación, proceder sobre distintos ámbitos del sector energético, experimentar nuevos modelos de gestión colectiva de energía, posibilitar soluciones innovadoras para poder soportar estructuras de suministro energético menos emisivas que, finalmente, permitan reconducir la trayectoria del sector hacia la sostenibilidad.

Capítulo **2**

Estructura de la tesis**2.1. Introducción**

Agregando tecnologías para permitir su mejor gestión, dominando su variabilidad, superando sus deficiencias, el modelo actual de la oferta energética se ha dirigido hacia conseguir economías de escala por medio de grandes centrales de producción eléctrica. Esto ha favorecido el creciente tamaño de los centros de producción, así como el progresivo alejamiento de los centros de consumo. Se han desarrollado líneas de transporte más capaces y más largas, interconectadas, y el control del sistema se ha llevado a cabo de forma centralizada y planificada, a través de grandes organismos públicos o privados.

Este enfoque funcionaba en una era de precios de energía estables y reducidos, que facilitaban la introducción de la opción tecnológica, mientras que la creciente demanda reducía los riesgos económicos del exceso de capacidad instalada. Dichas opciones estaban apoyadas en un número limitado de alternativas: centrales hidráulicas, centrales térmicas convencionales, energías renovables a gran escala y la energía nuclear como gran paradigma.

Esta agrupación de fuentes de energía ha sido la clave para estructurar la cadena de tecnologías de suministro. La idea principal ha sido que las distintas tecnologías se reemplacen unas con otras a fin de balancear los excedentes y/o déficits de la energía base y hacer posible un suministro directo de alta calidad (máxima ocupación de potencia). La energía base es aquella componente de la oferta que, debido a su bajo coste y a su capacidad/necesidad de funcionar ininterrumpidamente, genera constantemente una cierta cantidad de energía cubriendo así una parte constante de la demanda

De este modo, las unidades de producción se apoyan mutuamente para contribuir a lograr el dominio de la producción de electricidad, y a que los grandes agentes económicos capturen y capitalicen las oportunidades de negocios. Bajo este esquema, la agrupación de tecnologías promueve la economía de la electricidad y la presencia de las energías renovables es solo testimonial.

Un ejemplo de enfoque simbiótico en un modelo de oferta energética tradicional es el trasvase de Ebro, cuyas características se describirán en el capítulo 5. La red exige también el acople local de demandas eléctricas masivas, tales como el uso del vehículos eléctricos. Recargar las baterías de estos vehículos durante los periodos de menor demanda, generalmente durante las noches, permite suavizar los mínimos de la curva de demanda, aprovechando así los excedentes de la energía base. Bajo el actual esquema del mercado eléctrico, esta red es la única infraestructura existente para exportar la energía.

Pero los factores de fondo que han conformado el modelo actual han ido cambiando desde hace tiempo. Los factores como el calentamiento global, la volatilidad del precio de los recursos energéticos y su dependencia del clima geopolítico y de factores macroeconómicos, el incremento de la tasa de dependencia energética de los países importadores netos de recursos energéticos (como España), demuestran una clara vulnerabilidad del modelo energético tradicional.

A todo esto, se añaden acontecimientos que se han sucedido durante los últimos años, como la crisis y la lenta recuperación de la crisis económica que no ha usado la potencia dispuesta siguiendo otros escenarios de crecimiento de la demanda. Todo esto ha generado una

creciente preocupación de que el suministro de energía ya no es ni seguro ni adecuado. Los nuevos conceptos que actualmente emergen confirman la necesidad de nuevos enfoques.

Hay, por una parte, una búsqueda de energías más limpias, que permitan minimizar las emisiones de CO₂. La progresiva implementación de fuentes de energía renovables constituye uno de los pilares básicos en la política energética Europea, marcado por la necesidad de disminuir las emisiones de carbono y la dependencia energética del exterior. En concreto, la Directiva 28/CE/2009 ha marcado objetivos decisivos, conocidos como "20-20-20"; es decir una reducción de un 20% en el consumo de energía primaria de la Unión Europea; una reducción de otro 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero; y un aumento de la contribución de las energías renovables al 20% por el año 2020.

Esta tendencia a incrementar la fracción de fuentes de energía renovable implica nuevos retos para integrarlos de manera óptima. Una de las ventajas principales de los recursos renovables, de los cuales los más notables son la irradiación solar y la disponibilidad del viento, es que son prácticamente ubicuos. Esta naturaleza distribuida permite reducir o incluso eliminar las líneas de transmisión y distribución, limitando así la escala de las instalaciones.

Por otra parte, la generación eléctrica distribuida permite introducir en el debate temas como la cogeneración (único combustible Input, doble Output), lo que faculta un ahorro de energía primaria en el caso del uso de combustibles en la producción eléctrica y un ahorro en las pérdidas en distribución de esa energía hasta el consumidor.

Surge así un nuevo escenario que traerá cambios importantes en el modelo tradicional de generación y distribución de energía, así como en el modelo de negocio de la industria de la energía. Esta nueva oferta energética, que en las últimas décadas se ha abierto camino, surge como un nuevo paradigma para reemplazar la elevada centralización que domina el actual sistema, un paradigma que aporta nuevas soluciones de generación, distribución y almacenamiento de energía.

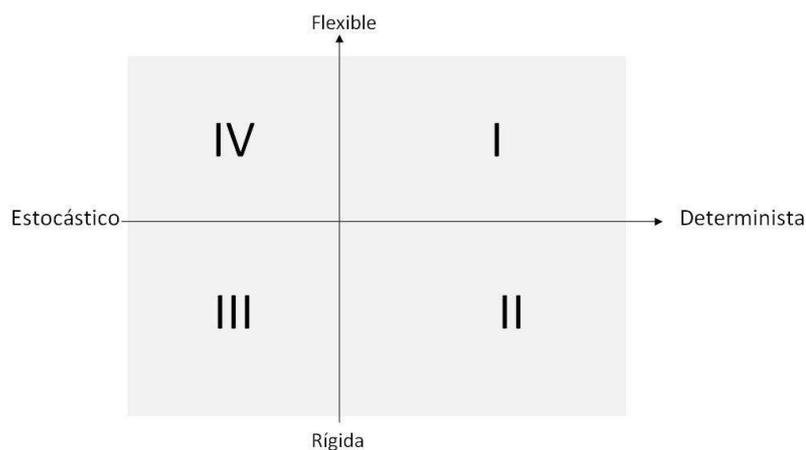
Estas posibilidades de control más disperso, cualidades de servicio heterogéneo, basado en la desagregación, fomenta la integración de fuentes de energía renovable y al mismo tiempo incrementa el potencial del mercado para tecnologías que pueden reducir pérdidas de energía en líneas de distribución y alcanzar mayores eficiencias de producción. Estas últimas pueden alcanzar hasta un 80-90%, en contraste con una típica central de carbón que genera electricidad con eficiencias del 33-35%, con las centrales térmicas de carbón pulverizado, que alcanzan eficiencias del 48%, y las centrales de ciclo combinado que pueden alcanzan una eficiencia del

50%. Así como con el existente “estado del arte” de las plantas de gas natural que tienen una eficiencia de entre 55-60%. [44,45].

Las herramientas de la oferta energética tienen que evaluarse de acuerdo con los distintos parámetros que conforman su estructura. De esta forma, los distintos sistemas se pueden ubicar en distintos cuadrantes en un grafico:

Flexibilidad/rigidez. Para una escala espacial y temporal dada, mide la capacidad de acoplamiento. Especifica el porcentaje de la oferta que es capaz de variar en intervalos temporales cortos, mientras que, del lado de la demanda, cuantifica la fracción que puede desplazarse o moverse en el tiempo.

Carácter estocástico /determinista Para una escala espacial y temporal dada, mide el nivel de aleatoriedad (y, por consecuencia, de incertidumbre). Por ejemplo, del lado de la oferta, sistemas que dependen de factores aleatorios como el viento son altamente estocásticos y viceversa. Demandas que dependan de patrones de ocupación y uso de tipo aleatorio son también altamente estocásticas.



Con respecto a las áreas urbanas, es necesario analizar en detalle los efectos inducidos por la interrelación de dos factores: la escala y el periodo de tiempo (instante, hora, día, mes, año).

La escala es un requisito inherente a la estimación del perfil de uso de energía. Por ejemplo, a escala de edificio único la incertidumbre y la “aleatoriedad” de un patrón son mucho mayores que a escala de grupo de edificios. De hecho, el tradicional crecimiento del modelo eléctrico buscaba –a cambio de eficiencia– reducir la incertidumbre en la demanda.

Por otro lado, las pautas de la demanda tienen una clara dependencia con la escala temporal. Por ejemplo, tanto los periodos de tiempo diarios como mensuales muestran patrones

similares y entregan valores de demanda media comparables que contrastan con las altas fluctuaciones y gran incertidumbre en los patrones horarios.

Si tomamos como referencia el edificio único y el periodo temporal anual, casi todas las ofertas de energía tradicionales se ubican dentro del cuadrante II (máxima rigidez, patrón muy determinista). Este es el caso de fuentes de energía base como la nuclear, que tardan días en arrancar y alcanzar el máximo nivel de producción y, por ello, su capacidad para variar este nivel en corto plazo es muy limitada. La energía nuclear constituye actualmente alrededor de un tercio de la electricidad y un 15 % de la energía consumida en la Unión Europea.

En contraste con la nuclear, entre las tecnologías que aportan mayor flexibilidad al sistema eléctrico está la generación hidráulica y la generación de ciclo combinado de gas natural. Estas tecnologías adaptan su generación a las necesidades del sistema y tienen menores tiempos de arranque, lo que les permite ajustar la oferta a las fluctuaciones instantáneas de la demanda.

La energía geotérmica es relativamente rígida, y la energía solar (térmica y fotovoltaica) también, y además es fluctuante. Los generadores con tecnología eólica son muy estocásticos en periodos breves. Este marcado carácter estocástico de la eólica y la rigidez de la solar son unos de los factores limitantes de su gestión.

Dadas las condiciones de la oferta energética, para lograr una mayor integración de las energías renovables, es necesario que el sistema disponga de herramientas capaces de absorber las variaciones de producción derivadas de su rigidez, de su intermitencia y de su estocasticidad

Es por lo tanto necesario hacer notar cómo las distintas funciones de los sistemas altamente eficientes actualmente disponibles con posibilidades de modulación de la producción de energía (por ejemplo, turbinas de gas, motor alternativo, motor Stirling, turbina de vapor, pilas de combustible, etc.), se localizan en su mayoría dentro del cuadrante I (flexible, determinista).

Mientras que la oferta energética necesita flexibilidad y pautas deterministas del lado de la demanda para facilitar la operación de los sistemas, la demanda de energía del edificio único se caracteriza por una flexibilidad limitada y una gran incertidumbre en su estimación. Esto se debe a componentes estocásticas que definen su estructura en el periodo horario y diario.

Con la ampliación de la escala, las componentes estocásticas independientes que definen la estructura de la demanda de energía de los edificios, se agregan y las variaciones temporales suelen suavizarse y aproximarse a una distribución estadística conocida como la distribución log-normal. Este efecto distributivo permite una predicción más fiable y menos incierta de la demanda. Por lo tanto, a priori, la escala de barrio es más adecuada para reducir la incertidumbre inherente a la demanda de energía en edificios únicos.

Tal y como hemos discutido anteriormente, tomando en cuenta la escala de edificio único y el periodo temporal horario y diario, casi todas las demandas de energía se encuentran en la zona de mayor incertidumbre y rigidez, coincidiendo con las debilidades de la oferta de RES. A continuación, desglosamos algunos ejemplos de esas dificultades y de intentos de solución.

Si nos referimos a usos eléctricos tales como electrodomésticos (lavadora, lavavajillas, secadora, etc.), estos dependen mayormente de comportamientos estocásticos que dependen de influencias culturales y hábitos. Sin embargo, dado que estas demandas pueden desplazarse en el tiempo sin ningún incidente y sin un desgaste significativo del equipamiento son una demanda flexible, la introducción de un sistema de tarifas dinámicas a lo largo de la franja diaria (cambios en el tiempo de uso) podría permitir contrarrestar esta incertidumbre, reduciendo la aleatoriedad de estos usos y aumentando su flexibilidad. El nuevo sistema de facturación eléctrica que empezó a funcionar el pasado 1 de julio (2015) va en este sentido, ya que aprovecha un 36% de contadores (10,19 millones) integrados en la red inteligentes de las compañías eléctricas para facilitar ese estímulo tarifario como regulador de esa demanda.

Los usos térmicos como el ACS, a pesar de no estar relacionado con la temperatura exterior, se caracterizan por una marcada naturaleza estocástica causada por el comportamiento del usuario. Entre el conjunto de variables que intervienen están: el momento en que se produce la necesidad de ACS, la duración del evento y con qué frecuencia. Se considera una demanda que podría llegar a ser medianamente flexible, ya que permite desplazarse en intervalos de tiempo dados. El predominio de calentadores termoeléctricos acumuladores aporta flexibilidad a la demanda a cambio de pérdidas de almacenamiento del calor.

Los usos eléctricos que son más difíciles de desplazar son los que tienen una elevada prioridad de flexibilidad desde la perspectiva del usuario como iluminación, pequeños electrodomésticos, ordenadores, portátiles y televisores, usos todos ellos de muy fácil sujeción a un orden temporal explícito. Las componentes estocásticas como la ocupación, o rígidas como

las horas de sol, son factores que intervienen en la rigidez y la previsibilidad de la demanda de iluminación.

La demanda de calefacción está fuertemente correlacionada con temperatura exterior o ganancias solares, y ésta es la causa del carácter estocástico de este uso térmico a lo largo del día, y también del año. Es también una demanda rígida, dado que la capacidad de almacenamiento no puede contrarrestar el desajuste estacional anual en el acoplamiento.

El perfil de ocupación es otro factor que aporta estocasticidad y rigidez a la demanda de calefacción a escala de vivienda o de un edificio.

A pesar de que todo tipo de aparatos de refrigeración podrían considerarse como dispositivos de almacenamiento, donde la electricidad se convierte en energía térmica (fría) y la energía térmica se almacena en los compartimientos de refrigeración (lo que significa que el funcionamiento del compresor puede modificarse y la demanda de electricidad se vuelve flexible), esto solo es posible durante periodos de tiempo muy breves. El perfil de este uso eléctrico es en realidad rígido y determinista.

Dada la actual estructura de suministro energético, la escasa capacidad del edificio único para desplazar de la demanda de energía en el tiempo (concentrada en determinadas horas del día), supone un importante hándicap para las redes de energía. Puesto que la edificación supone en España un tercio de la energía anual solicitada a la red, la necesaria interacción con diferentes tipos de fuentes para resolver los déficits y excedentes de energía, hace que la oferta no pueda aumentar sus fuentes de energía bases rígidas y deterministas, las más económicas.

Adicionalmente, en la actual estructura de suministro es necesario que el sistema disponga de suficientes herramientas que garanticen su capacidad de interconexión, tales como instalaciones de bombeo que guardan la energía excedente transformada en energía potencial.

A escala de barrio, la flexibilidad de la demanda se distribuye entre distintos edificios y funciones urbanas y también agrega más demandas que las de la edificación, lo que indica que el porcentaje de la demanda que puede moverse o ser desplazarse en el tiempo es mayor. Por lo tanto, en esta escala se presentan opciones viables para aprovechar la variabilidad de las fuentes RES sin suavizar los picos y reducir el dominio de la generación base (combustibles fósiles).

Si el modelo tradicional de energía no ha dado lugar a una estructura de energía sostenible y en particular, no cumple con los objetivos de reducción de emisiones de CO₂, se requieren cambios substanciales en la estructura tanto del lado de la oferta como del de la demanda a fin de promover una verdadera integración de RES y reducir la necesidad de conectarse y complementarse con el sistema existente de producción de electricidad.

Nos enfrentamos, ante la necesidad de aplicación de nuevos conceptos y potencialidades que requieren de considerables esfuerzos destinados a alcanzar un adecuado funcionamiento y viabilidad.

Y es necesario comprender como esta transformación tecnológica reclama un papel más activo de la demanda, modificando el modo que se planea, opera y rehabilita en la edificación para obtener una respuesta adecuada a la cuestión:

¿Cómo generar una demanda que maximice la eficiencia de esta nueva oferta energética basada en fuentes RES?

Para poder responder a dicho cuestionamiento parece fundamental discutir los efectos de la escala espacial y temporal en la evaluación de la oferta de energía, así como tener en cuenta que: los servicios que ofrece la edificación requieren tanto de electricidad como de energía térmica, por lo que es necesario incluir la información de las demandas térmicas y eléctricas. Y ello, tiene impacto no solo sobre las distancias de la distribución, sino también sobre las capacidades de almacenamiento y sobre las redes de energía.

Esta respuesta requiere también de la definición de los periodos de tiempo (hr, día, semana, mes, año), para investigar las oportunidades de uso eficiente de los recursos energéticos en zonas urbanas.

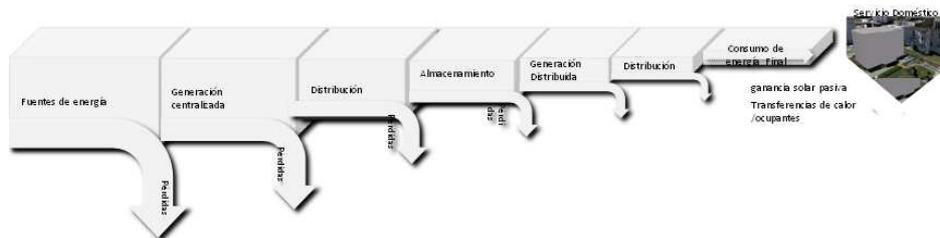
Solo vía este análisis será posible aprovechar los beneficios potenciales de la implementación de fuentes RES del nuevo modelo energético.

2.2. Estado del Arte

El sector de la edificación representa más del 40% del consumo de energía final en los países miembros de la Unión Europea, del cual el uso residencial (para aplicaciones de calefacción, refrigeración, aparatos eléctricos e iluminación), representa el 63%. Este hecho ubica al sector como la cuarta fuente clave de emisiones de CO₂ en la UE[4].

No obstante, existe un potencial significativo en el sector para reducir la tasa actual de emisiones. Pero, en los últimos años ha habido un debate sobre cómo lograr un uso más eficiente de los recursos energéticos en la edificación.

Actualmente podemos encontrar numerosos proyectos de investigación y desarrollo cuyos resultados muestran un importante potencial para introducir nuevos conceptos, metodologías de análisis, avance tecnológicos, soluciones de generación, distribución y almacenamiento de energía a nivel local, que permitan ayudar a reinvertir la tendencia creciente de generación de emisiones de CO₂.



Diversos estudios apoyan nuevos métodos de valoración y análisis de la edificación y optimización de estrategias que consideran el avance tecnológico. Por ejemplo, Kari Alanne [17], planea la selección de sistemas de suministro de energía para el sector residencial bajo un enfoque de análisis multicriterio, que aborda los impactos del ciclo de vida de los costos y de impacto ambiental. En concreto, los autores comparan los sistemas de micro CHP (producción combinada de electricidad y energía térmica útil a pequeña escala) con los sistemas tradicionales para la vivienda unifamiliar, concluyendo que los sistemas de CHP son una alternativa favorable frente a los sistemas tradicionales, particularmente desde la perspectiva medioambiental. Sin embargo, no se tienen conclusiones definitivas sobre la valoración global de diferentes opciones de suministro de energía.

Diferentes trabajos aplican distintos análisis multicriterio en la evaluación de la edificación residencial. Por ejemplo, H. Li, [18] emplea la optimización multicriterio para determinar la compensación entre los costos y el impacto ambiental de un sistema de suministro alternativo. M. Burer [19], a escala de edificio residencial, optimiza el diseño y

operación de un sistema de calefacción, refrigeración y generación de electricidad, respecto a los costos y emisiones de CO₂ mediante el análisis multicriterio. M. Ebrahimi [30], utiliza un algoritmo de decisión multi-criterio aplicando el enfoque de lógica difusa para elegir la mejor opción del generador principal de un sistema de micro-CCHP para un edificio residencial, en cinco climas diferentes. En el proceso de decisión utilizó el criterio, tecnológico, económico, medioambiental y social, así como dieciséis sub criterios. La toma de decisiones aplicando dicho enfoque propone que el motor de combustión interna es la mejor opción en todos los climas. Después de la selección del principal generador en diferentes climas, los autores tienden a encontrar la dimensión adecuada del sistema y la estrategia de seguir la demanda eléctrica y térmica del edificio.

E. Tsioliariidou [20], analiza el desarrollo de políticas de eficiencia energética en el sector de la edificación, utilizando un modelo de simulación llamado INVESTIMMO. Dicho modelo incorpora diferentes tipos de edificios, esquemas de fuentes de energía renovable (RES) y uso racional de la energía (RUE). Con respecto a RUE se desarrolló la metodología de “Energy Performance and Indoor Environmental Quality Retrofit (EPIQR)”, dentro del marco del Programa Europeo JOULE, que aborda aspectos como: la rehabilitación de edificios, el consumo de energía, las cuestiones de la calidad ambiental interior, la construcción de la edificación e información de costos. La simulación de costos y emisiones de CO₂ de varios escenarios hipotéticos considerando esquemas de promoción para la conservación de la energía en el sector residencial, se ejecutó considerando el caso específico de la Isla Creta en un periodo de tiempo hasta el 2020. M. Thyholt [1], evalúa el impacto de las medidas de eficiencia energética en la reducción de emisiones de CO₂ en el sector residencial. El autor muestra que la mejor política para la reducción de emisiones de CO₂ es la mejora en la eficiencia energética y discute metodologías que permitan ayudar a alcanzar dicho objetivo. Los autores también muestran cómo el modelo VERB CO2M es capaz de predecir el impacto de diversas medidas de conservación de energía en el consumo final y en las emisiones de CO₂. Las conclusiones hacen hincapié en que aunque el sector de la edificación juega un rol activo en la reducción de emisiones de CO₂, son necesarios aún mayores esfuerzos para alcanzar este objetivo.

Otras investigaciones se enfocan en el desarrollo (*de innovación tecnología sobre todo para sistemas RES y CHP*) de nuevos conceptos de distribución, generación y almacenamiento de energía. Por ejemplo, la iniciativa “Equilibrium”, organizado en el 2006 por el “Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC), Canada’s federal housing agency [26]”, dicha iniciativa se ha creado para demostrar el potencial de las tecnologías existentes para lograr que los edificios del sector residencial sean altamente eficientes, incorporen producción de energía renovable y tengan un bajo impacto en el ecosistema, mientras que mantiene un medioambiente

saludable y confortable. El objetivo de “net –zero energy” es uno de los principales criterios considerados.

Leif Gustavsson [28], analizó el uso de energía primaria y las emisiones de CO₂ para las fases de producción y operación de edificios residenciales. El trabajo incluyó en los análisis distintos tipos de sistemas de suministro de energía (concluyo que la fase de producción puede ser de un 45% para edificios convencionales y 60% del total para edificios de bajo consumo energético, dependiendo de los sistemas de suministro de energía y de las grandes variaciones de la edificación convencional). El resultado del uso de energía primaria y las emisiones de CO₂ son menores para las construcciones de madera que para las de concreto. El uso de energía primaria en sistemas de district heating y CHP fue 40% menor que para una vivienda pasiva que utiliza solo energía eléctrica. Los resultados demuestran que las construcciones de madera de bajo uso de energía junto con un sistema altamente eficiente de suministro de energía dan como resultado un bajo ciclo de vida de uso de energía primaria y de emisiones de CO₂.

Hongbo Ren [25], analizó dos alternativas de sistemas de “alta eficiencia” basadas en la producción combinada de energía eléctrica y térmica a nivel micro (μ CHP): motor de gas y pilas de combustible para edificios residenciales. Para cada sistema exploró dos modos distintos de operación que incluye minimizar las emisiones y los costos, considerando un modelo de evaluación para sistemas de (μ CHP) a nivel de edificio residencial. Los resultados mostraron que el sistema de la pila de combustible es la mejor opción para el edificio residencial examinado tanto de la perspectiva medioambiental como económica. Con la operación, las emisiones de CO₂ se reducen en un 9%. Sin embargo, establece que en el futuro deberán tomarse en cuenta otras tecnologías innovadoras ya que el beneficio de los sistemas de μ CHP parece no ser suficiente. Por ejemplo, considerar que los recursos renovables puedan utilizarse como combustible y mejorar el uso del calor recuperado para reducir las pérdidas

Behnaz Rezaie [2], trata un enfoque aparentemente novedoso para estudiar las opciones alternativas de energía renovable para la edificación, con el objetivo de incrementar su eficiencia y disminuir los costos y el impacto ambiental. Para lo cual ha seleccionado 4 edificios como casos de estudio. Concluye que para reducir las emisiones de CO₂, los sistemas híbridos (es decir, que incluyen varias fuentes de generación de energía) son la mejor opción.

M. Tolga Baltaa [27], estudió el rendimiento y la evaluación de la sostenibilidad de cuatro opciones de energía para su aplicación en la edificación. Se consideraron como casos de estudio en un edificio las siguientes cuatro opciones: (1) una bomba de calor, (2) una caldera de condensación, (3) una caldera convencional y (4) un colector solar. Con el análisis de exergía y energía para las cuatro opciones se obtuvieron los siguientes resultados: los rangos de la demanda más elevada y más pequeña de exergía de los sistemas de calefacción son para los

casos 3 y 4, respectivamente. Las mayores pérdidas de energía ocurren en la transformación de energía primaria en el caso 1. Los valores del índice de sostenibilidad para los cuatro casos son: 1.039, 1.034, 1.030 y 1.144, respectivamente.

Otros estudios se concentran en la valoración de tecnologías de eficiencia en la edificación así como la aplicación de conceptos y estrategias para el control y reducción de la demanda. Hoy en día, diferentes tipos de viviendas de bajo consumo se están construyendo con el término que cubre una variedad de conceptos como: viviendas pasivas, viviendas autosuficientes, edificio Minergie y Minergie-P, Edificios de Consumo de Energía casi Nulo [3, 7-14], este último ha recibido mayor atención en años recientes hasta convertirse en parte de la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (DEEE) refundida en el 2010 [15] y modificada en el 2012 [43]. El objetivo de estas estrategias es la minimización del uso de energía final o de la compra de energía en la fase de operación de los edificios, manejando como unidad básica el edificio único.

Constantinos A. Balaras, [4] hace una revisión global del stock de la edificación de la UE. Aplica la metodología (ECMs), en el caso específico de Grecia, para determinar las propiedades de las medidas de conservación en edificios del sector Residencial a fin de reducir las emisiones de CO₂. Establece que las medidas más efectivas de esta metodología son el aislamiento de muros externos (33-60% de ahorro de energía), impermeabilización de las aberturas (16-21%), la instalación de vidrios dobles en ventanas (14-20%) el mantenimiento regular de las calderas de calefacción centralizadas (10-12%), y la instalación de colectores solares para la producción de ACS (50-80%). Plantea que con la mejora de la legislación existente, y el uso de los materiales de construcción y equipamiento, se ha avanzado mucho en la eficiencia energética reduciendo el impacto ambiental de las décadas pasadas. Concluye que las medidas de eficiencia energética en edificios del sector Residencial pueden reducir las tasas de emisiones de CO₂ asociadas al sector de la edificación.

L. Gustavsson, [24] Explora cómo las soluciones de eficiencia energética aplicadas en un edificio de apartamentos afecta el uso de energía primaria en sistemas de producción de “district heated”. Dicho enfoque involucra un análisis hora a hora de las interacciones entre la demanda de energía, la producción de “district heated”, así como la producción combinada de energía eléctrica y térmica. Concluye que los ahorros en energía primaria dependerán de las medidas de eficiencia energéticas a nivel de uso final y de las características del sistema de producción de “district heated”. Por este motivo, deberán analizarse tanto el lado de la demanda como el de la oferta a fin de minimizar el uso de energía primaria.

Estos estudios y metodologías de análisis que respaldan la implementación de medidas de eficiencia energética en la edificación, enfocan sus esfuerzos considerando el edificio único como la unidad básica.

Los instrumentos de simulación energética y monitoreo de emisiones de CO₂ a nivel de edificio individual son ampliamente utilizados. A pesar de que en la actualidad podemos encontrar enfoques en los que la validación de los objetivos establecidos en la fase de planeación se llevan a cabo considerando las evaluaciones de la demanda de energía y la infraestructura de suministro de energía en áreas urbanas, estos aún se encuentran en la etapa de investigación o no son fácilmente accesibles. En cuanto a la fase de seguimiento de proyectos para su aplicación a una escala distinta del edificio único, solo se han identificado la herramienta danesa Energy Balance [32], provista por un consultor privado y Bilan Carbone [33] utilizado por la AFD (Agence Française de Développement) y en la Agencia de Energía Internacional.

Algunos otros enfoques establecen metodologías para cuantificar los resultados de la ampliación de medidas de ahorro de energía en los edificios, teniendo como referencia la escala de ciudad. A. Pfeiffer [3], analiza el potencial de ahorro de energía de edificios individuales del sector residencial mediante distintas combinaciones de estándares constructivos y sistemas de suministro de energía. Se pretende establecer el potencial de contribución del sector de la edificación para alcanzar una sociedad de 17 000 kWh año, que postula su viabilidad mediante sistemas de conversión de energía eficientes, junto con la reducción de las fuentes de energía no renovable y la maximización del uso de la energía renovable. Se discuten el impacto de las nuevas tecnologías individuales, la posibilidad de su implementación, los cambios estructurales necesarios en la red de generación de energía y las tendencias en el sector de la edificación. Finalmente se concluye que los edificios del sector muestran una tendencia favorable para balancear el exceso de consumo de energía en otros sectores.

Yoshiyuki Shimoda [21], desarrolla un modelo de simulación para predecir el consumo de energía final del sector residencial a nivel de ciudad. Diseña prototipos de edificación residencial con particulares características en términos de uso de energía. Los resultados los compara con datos estadísticos, para establecer los cambios en la población, en la composición de las viviendas, y finalmente predecir el futuro consumo de energía final. Las características que distinguen este modelo son las siguientes: evalúa el efecto de diversas medidas de conservación de energía, a nivel de equipamiento y edificio, teniendo como referencia la escala urbana. Puesto que el uso del equipamiento eléctrico está directamente relacionado con las actividades de los ocupantes, examina el efecto de estilo de vida en el consumo de energía a final. Para el cálculo de la carga térmica analiza el efecto del aislamiento térmico y las condiciones climáticas; y evalúa el funcionamiento del equipamiento de calefacción y refrigeración.

Por su parte, J. Jones [22], utiliza el modelo EEP (The Energy and Environmental Prediction), que es una herramienta de toma de decisiones que considera el nivel de ciudad. Esta metodología se basa en técnicas de GIS (Geographical Information System), y su objetivo, es el de cuantificar el consumo de energía final y emisiones de CO₂. Considera la interrelación entre los edificios, el sistema de transporte y el sector industrial para determinar el potencial de implementación de RES. Concluye que esta herramienta determina el impacto de los proyectos de desarrollo de una ciudad.

Gian Vincenzo Fracastoro [23], aplica una metodología de análisis para determinar el consumo de energía primaria para la calefacción partiendo de información estadística de edificios del sector residencial (E-SDOB, Statistical Distribution Of residential Buildings according to primary Energy consumption for heating purposes). El procedimiento es aplicable a cualquier territorio cuya escala es lo suficientemente grande para que los datos censales sean representativos y lo suficientemente pequeña para garantizar la suficiente homogeneidad bajo la perspectiva climática y edificatoria. Los input y sus categorías se muestran en la siguiente tabla:

Table 2
Input data categories and sources matching.

Sources	Census	Meteorological DB	Standards and laws	Literature	Energy statistics	Authors
Input data						
Geometrical	X					X
Construction			X	X		
Meteorological		X				
Internal conditions	X			X	X	
Thermal plant				X		

Fuente: G.V. Fracastoro, M. Serraino / Energy and Buildings 43 (2011) 844–852

En cuanto al sistema de energía térmica, eso determina la eficiencia de todos los subsistemas de calefacción para calcular la demanda de energía primaria a partir de la demanda de calefacción. La eficiencia global de dicho sistema se expresa como: $\eta_g = \eta_e \eta_c \eta_d \eta_p$ (η_e emission efficiency, η_c control efficiency, η_d distribution efficiency, η_p production efficiency)

El método se ha utilizado para evaluar el potencial de ahorro de energía mediante la aplicación a gran escala de medidas en el envoltorio del edificio. El autor afirma que este es un procedimiento que puede aplicarse a los sistemas de calefacción o de las tecnologías de energía renovable. Concluyendo que el E-SDOB puede ser una herramienta útil para mejorar el conocimiento del stock de la edificación a nivel regional y por lo tanto un marco coherente para la adopción de regulaciones de energía.

Giuliano Dall’O [31], sostiene que es importante la comprensión del funcionamiento energético de los edificios en un municipio o en un distrito para la implementación de estrategias de planeación de energía que aceleran el proceso de renovación de energía en edificios existentes que no son energéticamente eficientes. Los autores definen una herramienta

que permite crear una amplia base de datos del funcionamiento energético de los edificios en un entorno urbano. El procedimiento permite un relativamente rápida pre certificación energética de todos los edificios de un contexto local. El uso de la plataforma GIS mediante la implementación de WEB-GIS plug-in facilita el acceso de os datos vía WEB.

Estas metodologías, que tienen un enfoque más estadístico, pueden aportar información útil acerca de cómo es posible contribuir a la reducción de CO₂ a nivel de equipamiento y edificio teniendo como referencia la ciudad urbana.

Los enfoques anteriormente descritos pueden aportar información útil acerca de cómo es posible contribuir a la reducción del impacto ambiental a nivel de equipamiento y edificio, en algunos casos teniendo como referencia a la escala urbana. Sin embargo, estos planteamientos no consideran el rol potencial en cuanto a eficiencia y bajo impacto ambiental de nuevos conceptos que pueden aplicarse en escenarios que superen el nivel de edificio único.

Los casos de estudios registrados que forman parte de iniciativas como CONCERTO [34], ManagEnergy [35] (programas Europeos) o EQuilibrium Communities en la que colaboran Natural Resources Canada (NRCan) and Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)[36], entre otros, evidencian la necesidad de superar el funcionamiento del edificio único para no descuidar soluciones que pueden ser más favorables para el uso de recursos de energía renovable y reducción de emisiones de CO₂.

Por otro lado, está el enfoque de una “smart grid” que es una red completamente monitorizada debido a las redes de comunicaciones. El propósito de este planteamiento es una red eléctrica renovada, controlable y reconfigurable, que equilibra la demanda y la oferta de energía eléctrica y en donde tiene lugar la integración a gran escala de RES.



Tal y como lo manifiestan Hammons T [37] y Hamalainen RP [38] las redes inteligentes tendrían que permitir una comunicación en tiempo real entre los actores tanto del lado de la

demanda como de la oferta. Zahedi A [39] afirma que esto permite el control de la red a fin de optimizar la integración de fuentes de energías renovables

En la actualidad se han hecho algunas estimaciones relacionadas con la smart grid a escala nacional. El Departamento de Energía de los Estados Unidos ha patrocinado un reporte publicado en el 2010 [40], con el objetivo de estimar el ahorro de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO₂ que puede conseguirse con la implementación de una red eléctrica inteligente a este nivel. Para el año 2030 se espera que este sea alrededor de un 12 y un 6% respectivamente, lo cual no es suficiente para el contexto de mitigación del cambio climático.

Además, las soluciones al día de hoy de una smart grid han consistido más en modernizar la red eléctrica existente que en abordar la necesidad urgente de una verdadera transformación estructural del escenario energético.

Una smart grid continúa siendo dominada por las empresas eléctricas y se asume como algo casi incuestionable que un contador eléctrico, que proporciona mucha información del usuario, es una parte vital de esta tecnología. Estas redes de contadores eléctricos no proporcionan por completo una comunicación bidireccional, de modo que no han sido diseñadas para poder aplicar soluciones del lado de la demanda. Una comunicación bidireccional total, que permita el control del usuario de energía, sería liberar a la smart grid del mando de las empresas eléctricas.

En la actualidad surgen cuestiones sobre: ¿cómo los datos de los contadores eléctricos sirven a los propósitos de una smart grid? ¿cómo la observación de las conductas de los usuarios ayudan a gestionar la red? O ¿cuáles son los detalles de cómo trabajan las tecnologías de medición y son aplicadas por las empresas eléctricas?. Tampoco está claro que existan otras formas de lograr los propósitos de una red inteligente.

Un informe de ACORE [41], sostiene que aun cuando estos contadores eléctricos proporcionaran una función de comunicación de dos vías, siguiendo el actual enfoque de las redes eléctricas sería como implementar una estrategia de control centralizada. Este enfoque no opera a gran escala debido a su complejidad y no sería aceptable para los consumidores debido a su intromisión en la privacidad.

Incluso Cavoukian, Ann [42] en un documento clave para la privacidad de los datos de una smart grid llega a confundir las redes inteligentes con contadores eléctricos. Otro ejemplo de esta suposición es un documento citado por Elias Quinn [43] quien inicialmente explica fondo los riesgos de la privacidad de datos del contador eléctrico y que, sin embargo, también ve la revelación de comportamientos específicos de los usuarios como algo esencial de una smart grid.

En una era de vigilancia en la que parece que nos adentramos cada vez más, este nuevo frente despierta ciertas preocupaciones. En Estados Unidos, la tecnología que conforma una smart grid y su invasión a la privacidad es ya un tema de debate.

Nuestro planteamiento es el de identificar la escala de los modelos de demanda de la edificación que permitan tomar ventajas de las nuevas herramientas y que apoyen la selección de conceptos de gestión de energía local, de manera integrada, a fin de facilitar los resultados de reducción de emisiones en lugar de obstaculizarlos.

La definición de la escala deberá respaldar las condiciones bajo las cuales es posible procurar instrumentos a la oferta potencialmente menos emisiva para estructurar la demanda y, de este modo, consolidar el potencial de eficiencia energética en el sector de la edificación.

Dicho enfoque deberá apoyar la evaluación de los aspectos energéticos que no pueden ser valorados a nivel de edificio único y que se vuelven relevantes en el análisis del comportamiento de los modelos de demanda y su interacción con la oferta energética en áreas urbanas.

La escala de la eficiencia en la edificación deberá consolidarse para lograr el máximo aprovechamiento de los flujos energéticos que van más allá del potencial eléctrico, reducir los obstáculos, y captar todo el potencial de las estrategias que aseguren el acoplamiento entre los niveles de demanda fluctuante y la variabilidad temporal de la relación E/Q de la oferta energética potencialmente menos emisiva. A fin de reducir la fracción primaria, racionalizar el uso de los recursos de energía de alta calidad y minimizar la disipación irreversible de energía de baja calidad.

El objetivo de este enfoque es el de disminuir la demanda de energía en el sector de la edificación y la implementación de una cantidad substancial de fuentes de energía renovable y del entorno local. Con la adecuación de la escala de la eficiencia en la edificación, el total de kg de CO₂ por kWh_e usado reducirá substancialmente como resultado de procesos de conversión de energía más eficientes.

2.3. Metodología

La metodología deberá permitirnos un acercamiento a la selección de escenarios de demanda que, consideren un menor consumo de energía primaria y la minimización de emisiones de CO₂ y maximicen la eficiencia de los sistemas. De esta manera la metodología empleada se ha dividido en las siguientes fases:

2.3.1. Caracterización de la Oferta y Demanda

La innovación de la actual oferta energética ha tenido lugar, después de un largo periodo de estancamiento, generando diversas soluciones a nivel de generación, distribución y almacenamiento de energía, ya que es en esta cadena donde mayormente se producen las pérdidas de energía y, por lo tanto, donde existe un mayor potencial de mejora.

Por tanto, se pretenden proporcionar una visión global de la gama de dichas posibilidades. En este sentido, la oferta de sistemas basados en fuentes de energía renovable y de sistemas “altamente eficientes” que pueden potencialmente ser integrados en diversas escalas dentro del ámbito urbano, presenta en la actualidad sistemas clave para lograr una verdadera mejora en el uso de los recursos energéticos y consolidar el potencial de reducción de emisiones de CO₂ por kWh_e usado en el sector de la edificación. Se considera clave la modulación E/Q por cuanto la cogeneración es una herramienta clave en el proceso que se plantea.

En esta fase se pretende evaluar también las posibilidades de control y ajuste de los niveles de demanda de energía eléctrica y térmica de los edificios, considerando las condiciones específicas para facilitar un efecto sustitutivo del servicio energético tradicional hacia sistemas más eficientes, maximizando el rendimiento de los esquemas posibles.

Así mismo, la edificación tiene un amplio rango de posibles demandas de energía, sujetas a situaciones y necesidades específicas. La vivienda unifamiliar, el conjunto de edificios, la escala intermedia a nivel de barrios, hasta llegar a la aplicación de criterios y estrategias en unidades territoriales más extensas, conformándose así modelos de demanda energética con una escala amplia y variada, que serán evaluados de acuerdo a los factores que permiten predecir el potencial de reducción de emisiones de CO₂

2.3.2. Acoplamiento: Escenarios energéticos. Identificación de estrategia

Con el término de “Escenarios energéticos” nos referimos a las diversas posibilidades de acoplamiento de los modelos de demanda desde la edificación a la oferta de sistemas de energía

basados en fuentes de energía renovable y sistemas altamente eficientes actualmente disponibles, que se describirán ampliamente en capítulos posteriores.

La edificación tiene un amplio rango de posibles escenarios energéticos, que se caracterizan por situaciones concretas de escala, de usos de energía, de combinaciones de energía eléctrica y térmica.

Se establecerán las diversas posibilidades de acoplamiento mediante la identificación de las principales estrategias que determinen el margen de aprovechamiento energético entre la oferta y demanda energética para poder evidenciar la escala de la eficiencia en la edificación.

Para el planteamiento de las principales estrategias de optimización deberán considerarse los factores que pueden provocar los desfases entre la oferta y demanda energética para así determinar la vulnerabilidad del escenario, es decir, si se trata o no de un proceso viable y eficiente de acoplamiento energético.

Bibliografía

- [1] M. Thyholt, Heat supply to low-energy buildings in district heating areas, Analyses of CO₂ emissions and electricity supply security, *Energy and Buildings* 40 (2008) 131–1394
- [2] Behnaz Rezaie, Renewable energy options for buildings: Case studies, *Energy and Buildings* 43 (2011) 56–65
- [3] A. Pfeiffer, M. Koschenz, A. Wokaun, Energy and building technology for the 2000 W society—Potential of residential buildings in Switzerland, *Energy and Buildings* 37 (2005) 1158–1174
- [4] European Commission Energy: Market Observatory: Annual Report, Available from: <http://ec.europa.eu/energy/observatory/annual-reports/annual-reports-en.htm> (último acceso 10/11/12). 2009
- [5] Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, et al. Climate change 2001: mitigation. Contribution of working group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
- [6] Wiel S, Martin N, Levine M, Price L, Sathaye J. The role of building energy efficiency in managing atmospheric carbon dioxide. *Environmental Science and Policy* 1998;1(1):27–38.
- [7] Minergie, Minergie [online]. Disponible en: <http://www.minergie.ch/home-en.html> com/, (último acceso 31/10/2012)
- [8] US DOE. Building Technologies Program, Planned Program Activities for 2008-2012, Department Of Energy, US, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/mypp.html> (último acceso 01/07/2010)
- [9] Passivhaus Instituts, Passivhaus Instituts [online]. Available from: http://www.passiv.de/index_PHI.html, (último acceso 31/10/2012)
- [10] K. Voss, E. Musall, Net Zero Energy Buildings – International Projects on Carbon Neutrality in Buildings, DETAIL, ISBN-978-3-0346-0780-3, Munich, 2011.
- [11] Hernandez, P., Kenny, P. From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings* 42 (2010), 815–821
- [12] Marszal, A., Heiselberg, P., Bourrelle, J.-S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., Napolitano, A. Zero Energy Building – A Review of Definition and Calculation Methodologies. *Energy and Buildings* 43 (2011) 971–979
- [13] Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A., Pless, S., Torcellini, P. and Voss, K.: Criteria for Definition of NetZero Energy Buildings, In the Proceedings of EuroSun. 2010
- [14] Voss, K. & Riley, M. 2009. IEA Joint Project: Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBS). In: SHC Task 40, E. A. (ed.). International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings and Community Systems.
- [15] DEEE refundición. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea (2010) 18/06/2010
- [16] M.M. Huamani. Methodology for generating thermal and electric load profiles for designing a cogeneration system, *Energy and Buildings* 39 (2007) 1003–1010
- [17] Kari Alanne, Multi-criteria evaluation of residential energy supply systems, *Energy and Buildings* 39 (2007) 1218–1226
- [18] H. Li, M. Burer, Z. Song, D. Favrat, F. Marechal, Green heating system: characteristics and illustration with multi-criteria optimization of an integrated energy system, *Energy* 29 (2) (2004) 225–244.
- [19] M. Burer, K. Tanaka, K. Yamada, D. Favrat, Multi-criteria optimization of a district cogeneration plant integrating a solid oxide fuel cell-gas turbine combined cycle, heat pumps and chillers, *Energy* 28 (6) (2003) 497–518.
- [20] E. Tsiolaridou, A new methodology for renewable and rational use of energy policy in building sector: Case study for the island of Crete, *Energy and Buildings* 38 (2006) 196–206
- [21] Yoshiyuki Shimoda, Residential end-use energy simulation at city scale, *Building and Environment* 39 (2004) 959 – 967
- [22] J. Jones, S. Lannon, J. Williams, Modelling building energy use at urban scale, in: Proceedings of the 7th International IBPSA conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2001, pp. 175–180
- [23] Gian Vincenzo Fracastoro, Matteo Serraino Modelling. A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications, *Energy and Buildings* 43 (2011) 844–852
- [24] L. Gustavsson, A. Dodoo, N.L. Truong, I. Danielski, Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings, *Energy and Buildings* 43 (2011) 38–48

- [25] Hongbo Ren *, Weijun Gao, Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan, *Energy and Buildings* 42 (2010) 853–861
- [26] The EQuilibrium Sustainable Housing Demonstration Initiative. Disponible en: http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/su/eqho/eqho_008.cfm (último acceso 14/10/2011)
- [27] M. Tolga Baltaa, Performance and sustainability assessment of energy options for building HVAC applications, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1320–1328
- [28] Leif Gustavsson, Life cycle primary energy analysis of residential buildings, *Energy and Buildings* 42 (2010) 210–220
- [29] A.F. Orlando, M.P. Málaga, M.M. Huamani, Methodology for generating electric load profiles for sizing an electric energy generation system, *Energy and Buildings* 52 (2012) 161–167
- [30] Masood Ebrahimi, Ali Keshavarz, Prime mover selection for a residential micro-CCHP by using two multi-criteria decision-making methods, *Energy and Buildings* xxx (2012) xxx–xxx
- [31] Giuliano Dall'O', Annalisa Galante, Marco Torri, A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale, *Energy and Buildings* 48 (2012) 211–219
- [32] EnergyBalance [online]. Disponible en: <http://www.planenergi.dk/>, (último acceso 14/04/2011)
- [33] Bilan Carbone [online]. Disponible en: <http://www.ademe.fr/alsace/projets-DR/bilan-carbone.html>, (último acceso 14/04/2011)
- [34] Quitzau, M-B., Hoffmannm, B., Elle, M. Munthe-Kaas, P. & Lilliendhal-Larsen, J. Municipalities as promoters of energy efficient buildings - Idea catalogue for proactive planning practices. In: CONCERTO (ed.) Concerto Initiative - Class I. Cost-effective Low-energy Advanced Sustainable Solutions. Municipality of Egedal. 2009
- [35] Managenergy [online]. Disponible en: <http://www.managenergy.net/>(último acceso 10/05/2010)
- [36] EQuilibrium™ Communities Initiative [online]. Disp: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/su/eqsucoin/index.cfm>, (último acceso 18/11/2012)
- [37] Hammons T. Integrating renewable energy sources into European grids. *Int J Electr Power Energy Syst* 2008;30(8):462e75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2008.04.010>.
- [38] Hamalainen RP, Mantysaari J, Ruusunen J, Pineau PO. Cooperative consumers in a deregulated electricity market dynamic consumption strategies and price coordination. *Energy* 2000;25:857e75.
- [39] Zahedi A. Maximizing solar PV energy penetration using energy storage technology. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(1):866e70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.011>.
- [40] Pratt RG et al., "The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 Benefits" U.S. Department of Energy, PNNL-19112, Revision 1, 2010.
- [41] ACORE. "Integration of Renewables into the Smart Grid." Renewable Energy Teleconference Series, American Council on Renewable Energy (ACORE), October 19 <http://renewableenergyinfo.org/index.php/archives/8-archives/55-wednesday-october-19-2011>
- [42] Cavoukian, Ann. "Privacy by Design: Best Practices for Privacy and the Smart Grid." in ISSE 2010 Securing Electronic Business Processes: Highlights of the Information Security Solutions Europe 2010 Conference. Norbert Pohlmann, Helmut Reimer and Wolfgang Schneider, Eds. pp 260-270. 2011
- [43] DEEE. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea* 14.11.2012
- [44] U.S. Environmental Protection Agency , Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2008.
- [45] Enrico Carpaneto, Gianfranco Chicco, Cogeneration planning under uncertainty Part I: Multiple time frame approach, *Applied Energy* 88 (2011) 1059–1067
- [46] José Manuel Naredo Pérez. La encrucijada de la gestión del agua en España. Archipiélago: Cuadernos de crítica de la cultura, ISSN 0214-2686, N° 57, págs. 17-33, 2003

Capítulo 3

Caracterización de la Oferta

3.1. Introducción

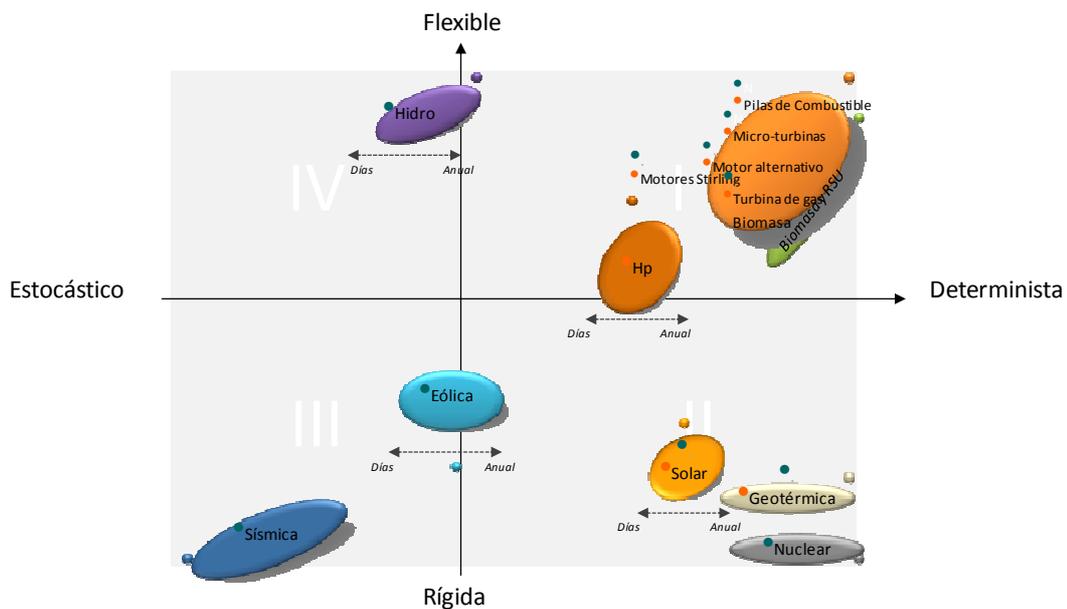
El nuevo paradigma de la oferta se enfoca menos en maximizar la eficiencia eléctrica de los sistemas de energía, y más en maximizar la eficiencia del sistema en su conjunto. El sector enfatiza la necesidad de desarrollar una oferta de energía con capacidad de respuesta rápida para controlar la generación de energía eléctrica y térmica. Este objetivo no es fácil de alcanzar en un gran número de sistemas a escala de edificio único y en el periodo temporal anual.

Tal y como se menciona con anterioridad, una de las características más importantes de los sistemas de energía es su flexibilidad, es decir, la habilidad de modificar en intervalos de tiempo el suministro de energía como respuesta a los cambios de la demanda. Una de las maneras para alcanzar esta condición, sin sacrificar significativamente la eficiencia global, es diseñando un sistema con capacidad de respuesta rápida para controlar la generación de energía.

Una producción de energía eléctrica y/o térmica bajo este enfoque tiene importantes ventajas respecto a un enfoque rígido. Principalmente, una tecnología flexible puede acoplar el suministro instantáneo de energía eléctrica y/o térmica con la demanda instantánea de energía

Además de habilitar la versatilidad de los sistemas de energía, esta condición facilita las predicciones, aumentando su carácter determinista.

La flexibilidad y el carácter determinista son las dos características más importantes de las tecnologías de generación de energía en la estructura actual del mercado eléctrico. En contraste, si tomamos como referencia el edificio único y el periodo temporal anual para analizar la operatividad de los sistemas de energía, casi cualquier tipo de tecnología de generación de energía tradicional se ubica dentro del cuadrante II (máxima rigidez, patrón muy determinista). La habilidad de respuesta rápida para controlar la generación de energía es limitada porque dichas tecnologías normalmente operan en modo fijo. Tal es el caso de formas de energía base como la nuclear, que tardan días en arrancar y alcanzar el nivel máximo de producción.



A pesar de que algunas tecnologías como la generación hidráulica y la del ciclo combinado pueden modificar su generación para adaptarla a las necesidades de los sistemas y que tienen menores tiempos de arranque, también tienen esta habilidad acotada.

Además, en el caso de las tecnologías de ciclo combinado, la adaptación a la flexibilidad del sistema se obtiene aumentando el número de arranques y paradas con consecuente intensificación de riesgos de avería, incremento de costes de operación y mantenimiento, reducción de vida útil y disminución de ingresos en el mercado.

Esta capacidad también es restringida para la generación de energía de tipo renovable sujeta a la alta incertidumbre asociada a la predicción del recurso primario y a las características de las tecnologías, tales como la eólica y la solar.

En el caso de la radiación solar, cuyos dos componentes que se aprovechan para la generación de energía son la radiación solar global (en la tecnología fotovoltaica) y la radiación solar directa (en la tecnología térmica), la predicción presenta un elevado nivel de incertidumbre. Aunque los modelos matemáticos permiten tener predicciones relativamente fiables, un conjunto de circunstancias pueden complicar su pronóstico a corto plazo (la nubosidad, la presencia de obstáculos que la radiación solar encuentre desde su llegada a la atmosfera hasta la superficie terrestre, etc.)

El viento proporciona energía cinética, que se puede transformar en energía eléctrica mediante el empleo de aerogeneradores. Es un magnitud vectorial, y por lo tanto, queda definida por el modulo de su velocidad y su dirección. Los modelos matemáticos que se emplean para estimar estos dos parámetros son altamente no lineales, lo que implica que su resolución requiere de potentes métodos de solución y potentes recursos de cálculos. Además, las ecuaciones en derivadas parciales que rigen estos modelos dependen de variables altamente aleatorias lo que introduce una gran incertidumbre en los resultados.

Así mismo un alto nivel de incertidumbre está asociado a las características de las tecnologías basadas en fuentes renovables, tales como el comportamiento direccional de algunos parques eólicos, la necesidad de reducir la producción eólica en tiempo real por motivos de seguridad, o la necesidad de mantener la temperatura del fluido conducto en unidades térmicas, también puede suponer una complejidad adicional en el pronóstico de la producción, etc.

La energía solar (térmica y fotovoltaica) es claramente determinista, mientras que la eólica tiene un gran nivel de incertidumbre en periodos breves –horas, días- aunque es más predecible anualmente. La energía geotérmica al igual que la solar es determinista. La rigidez de la Solar y la naturaleza estocástica de la eólica son unos de los factores que limitan las posibilidades de su gestión.

A diferencia de lo mencionado anteriormente, la habilidad para alcanzar un rápido control de la generación de energía sobre intervalos de tiempos rápidos y esporádicos, es una característica de las distintas funciones de los sistemas altamente eficientes con posibilidades de modulación de la producción de energía (por ejemplo, turbinas de gas, motor alternativo, motor Stirling, turbina de vapor, pilas de combustible, etc.), localizándose la mayoría dentro del cuadrante I (flexible, determinista). Por lo tanto, estas resultan soluciones atractivas para ajustar el balance entre la oferta de RES y la demanda.

3.2. Parámetros de la Oferta

El actual cambio de paradigma de la oferta de energía “altamente eficiente” pone en evidencia que para asegurar una mayor contribución a la reducción de kg de CO₂ por kWh_e usado en la edificación, son necesarias nuevas iniciativas e instrumentos que desbloqueen la penetración de nuevas soluciones.

Algunas de las nuevas herramientas de la oferta de energía in situ más prometedoras en lograr un uso más eficiente de los recursos energéticos, son más adecuadas a una escala que supera el edificio único y también dependen de múltiples fuentes de energías tanto continuas como intermitentes. En contraste con la práctica actual para abordar la eficiencia en los edificios, estos aspectos tienen que ser evaluados en términos de escala y de una alta resolución temporal para predecir los flujos de energía.

En esta sección se presentan los parámetros que pueden favorecer una mayor comprensión de una estructura energética en transformación, lograr la integración de los patrones de naturaleza fluctuante de la oferta y la demanda, y establecer su impacto ambiental.

3.2.1 Relación Electricidad Calor E/Q

En la caracterización de la oferta uno de los parámetros fundamentales es la relación entre la oferta eléctrica E y la térmica Q:

$$E/Q, \tag{3.0}$$

Para caracterizar dicha relación se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva del estado del arte de la producción combinada eléctrica y térmica útil y, por separado, de energía eléctrica y térmica.

Cabe destacar que el cambio de paradigma de la actual oferta energética “altamente eficiente”, se enfoca menos en la maximización de la eficiencia eléctrica y más en la eficiencia global (eléctrica y térmica).

Dicho parámetro tiene un estrecho vínculo con la relación de las correspondientes eficiencias:

$$\eta_e / \eta_h, \quad (3.0)$$

Siendo η_e la eficiencia eléctrica y η_h la eficiencia térmica

La caracterización de la actual oferta energética “altamente eficiente” pone de manifiesto que uno de las estrategias más importantes en la reestructuración del sistema de suministro energético es la capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda [1]. De este modo, en el marco de la liberalización del mercado energético se pone de manifiesto la necesidad de desarrollar una oferta energética “altamente eficiente”, con una relación E/Q, capaz de adaptarse a las condiciones de intermitencia de la demanda global de energía [2].

Para un sistema de “alta eficiencia energética”, una relación E/Q flexible, comprende varias ventajas: incremento de la eficiencia global, reducción del consumo de energía primaria y reducción de emisiones de CO₂ por kWh generado [3].

Sin embargo, con excepción del potencial de las pilas de combustible, la mayoría de los sistemas “altamente eficientes”, hoy disponibles, tienen un valor fijo de E/Q [4, 5].

Dado los importantes beneficios en cuanto a reducción del impacto ambiental, la necesidad de moldear el parámetro E/Q a las fluctuaciones temporales de la demanda se convierte en uno de los principales objetivos.

Del lado de la oferta, el análisis y optimización temporal del parámetro E/Q, permite distinguir entre diferentes calidades de flujos de energía. De este modo, la valoración y máximo aprovechamiento de los flujos energéticos, así como el incremento de la flexibilidad de los modelos de demanda para asumirlos, se convierten en aspectos primordiales.

En particular, el amplio rango de variación temporal de la relación de la demanda eléctrica y térmica a escala de edificio único (ver sig. fig), evidencia la difícil tarea de acoplamiento energético con la oferta “altamente eficiente”.

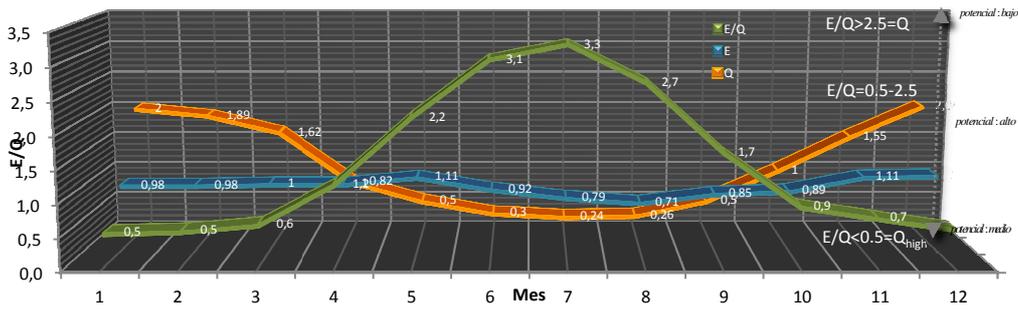


Figura 3.1. La figura muestra un ejemplo del perfil de demanda de energía eléctrica y térmica así como la variación temporal de la relación E/Q en un caso de edificio único en el periodo de un año. Gráfica de elaboración propia sustentada en el análisis del informe: “Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems” .[24]

Esto evidencia que la capacidad de modificar la variabilidad temporal de la relación E/Q, haciendo frente a los factores que provocan los desfases en los procesos eficientes de acoplamiento, es una característica que está estrechamente ligada con la dimensión de la escala de los modelos de demanda.

3.2.2 Modulación y determinación de la escala óptima de los sistemas

La oferta de potencia eléctrica, se vuelve fundamental para poder conformar la adecuada variabilidad temporal del parámetro E/Q a fin de alcanzar el potencial de reducción de emisiones de CO₂

$$kW_e, \tag{3.0}$$

La evaluación de las características transitorias de la relación eléctrica y térmica nos permitirá optimizar esta modulación [kW_e], mediante el análisis de las posibles fluctuaciones de los sistemas y su capacidad de sincronización con el perfil de demanda residencial. De esta manera, se definirá el potencial de flexibilidad y máxima capacidad de aprovechamiento de los flujos energéticos de las diversas escalas, así como sus posibles alcances para asegurar su calidad de autosuficiencia.

3.2.3 Disminución de emisiones contaminantes

$$kgCO_2 / kWh_e, \tag{3.0}$$

Es un factor para evaluar la eficiencia ambiental de la oferta energética. Se evaluarán los flujos energéticos durante el proceso de obtención del servicio energético generado por los sistemas y que son necesarios para satisfacer la demanda. De esta manera quedarán evidenciadas características como:

- Cantidad de energía solar obtenida a través del sistema de energía solar, dividido por el total de la energía demandada. La fracción solar oscila entre 0 (ninguna utilización de la energía solar) y 1 (toda la energía que se necesita en un determinado escenario energético se obtiene con energía solar).
- Diversificación de fuentes energéticas y métodos de generación. Distancia límite, D_{lim} , entre el sistema de generación y puntos de consumo.
- La distancia límite es indicativo de las pérdidas por distribución.
- Flexibilidad, cualidad que ya se ha explicado y que se vincula con la dimensión de escala y con la capacidad de adecuación de la variación temporal de la relación entre la energía eléctrica y térmica.

3.3. Aplicación

3.3.1 Caracterización de los sistemas de Referencia de la Oferta Energética actualmente disponible.

En la última década ha tenido lugar, un renovado interés por la oferta energética actualmente disponible. Esto lo confirman fuentes como la AIE, que enumera diversos factores que contribuyen a darle una mayor importancia a la evolución tecnológica: la preocupación por el cambio climático, la liberalización del mercado energético, el desarrollo de las tecnologías de generación distribuida y las limitaciones para construir nuevas líneas de transmisión [7]. Desde nuestra perspectiva el potencial de reducción de emisiones de CO_2 en el sector de la edificación se convierte, sin duda alguna, el eje fundamental de este interés.

La oferta actualmente disponible proporciona una variedad de alternativas para la planeación más eficiente de los sistemas de energía dentro de zonas urbanas densamente pobladas. Estas alternativas, basadas en fuentes de energía renovable (RES) y distintas funciones de los sistemas altamente eficientes (CHP, DH, DH&C, etc.), se caracterizan por una mayor proximidad al usuario de energía final, por hacer posible el uso más eficiente de los recursos energéticos locales y de la red de distribución, al tiempo que pueden significar la

reasignación de la toma de decisiones y de las actividades de uso y gestión de los flujos energéticos en contextos urbanos.

Debido a la estructura de los flujos de energía en las ciudades se requiere una comprensión detallada de esta oferta energética. Lo que hace evidente que en este análisis deben considerarse los aspectos fundamentales que condicionan a la nueva oferta de sistemas de energía y que deben tenerse en cuenta en un proceso eficiente de acoplamiento energético con la demanda.

Uno de estos aspectos fundamentales y que condicionan el potencial de acoplamiento es la flexibilidad. Dicha cualidad se vincula con la dimensión de escala y con la capacidad de adecuación de la variación temporal de la relación entre la energía eléctrica y térmica. La diversidad de escalas y posibilidades de la relación E/Q, significan una mayor “flexibilidad en el tiempo”. Tal como hemos analizado anteriormente, son los parámetros fundamentales que deben ser considerados en el proceso de transición hacia un suministro energético menos intensivo en emisiones.

Así mismo, la habilidad de operar en red y contrarrestar la fragmentación operativa de las distintas posibilidades de la oferta energética, son otros aspectos que deben igualmente evaluarse. Lo cual requiere de una normativa común de compatibilidad entre las diversas alternativas, así como un formato de flujos de información y manejo de datos que tome en cuenta la previsible trayectoria de los sistemas en el futuro. De este modo, la adecuación de la estructura del escenario energético será menos vulnerable a la influencia del clima geopolítico y factores macroeconómicos.

Otro factor determinante en el proceso de adecuación de la eficiencia de la oferta es la localización respecto a la demanda, que define un mejor uso de los recursos energéticos en el contexto de los sistemas de energía. Entre otras características a la localización se la asocia, por ejemplo, con la disminución de líneas de distribución. Esto evita la necesidad de energía adicional para compensar las pérdidas en este proceso, y por lo tanto, ayuda a reducir el impacto ambiental.

Debido a estas y otras características de las nuevas soluciones de generación, distribución y almacenamiento de energía, estas son vistas como herramientas que pueden ayudar a enfrentar la preocupación por el cambio climático. Además establecen la posibilidad de responder de un modo más flexible a las condiciones de un mercado energético,

incrementando la participación del usuario de energía final lo que, por ejemplo, puede generar una mejor gestión de los flujos energéticos.

Como lo hemos explicado anteriormente, el actual desequilibrio ambiental del que es parte activa el modelo de demanda del sector de la edificación, ha sido la fuerza motriz detrás del interés por caracterizar la oferta energética “altamente eficiente” y de buscar soluciones más apropiadas y menos emisivas por kWh_e usado. Tanto los cambios tecnológicos, económicos, políticos, la normativa vigente así como la discusión de otros aspectos que contribuyan a una mejor comprensión de los elementos que influyen en el comportamiento de los modelos de demanda, deberán analizarse e integrarse óptimamente a fin de contrarrestar un sistema de energía que hasta ahora ha sido muy centralizado y altamente emisivo.

La nueva oferta de sistemas de energía puede potencialmente lograr una reducción de las emisiones de CO₂, siempre y cuando establezca un proceso eficiente de acoplamiento energético con los niveles de demanda. Esto significa que ese potencial no puede representar un verdadero ahorro de emisiones de [kgCO₂/kWh_e] a todas las escalas [kW_e] y rangos de variación [E/Q].

En la actualidad, la oferta energética “altamente eficiente” dispone aún de capacidad de innovación para hacer posible en el futuro la flexibilización de la escala y de la relación E/Q. Esto nos permite evidenciar que se establecerá el rango de variación $[E/Q]$, en valores óptimos definidos por la actual demanda $[> 0.5 - 2.5]$ y definir un amplio rango de potencia disponible $[kW_e]$. Potencia que varía significativamente en su dimensión, por lo que es conveniente introducir las categorías de micro, pequeña y media escala $[5 kW_e - 5000 kW_e]$.

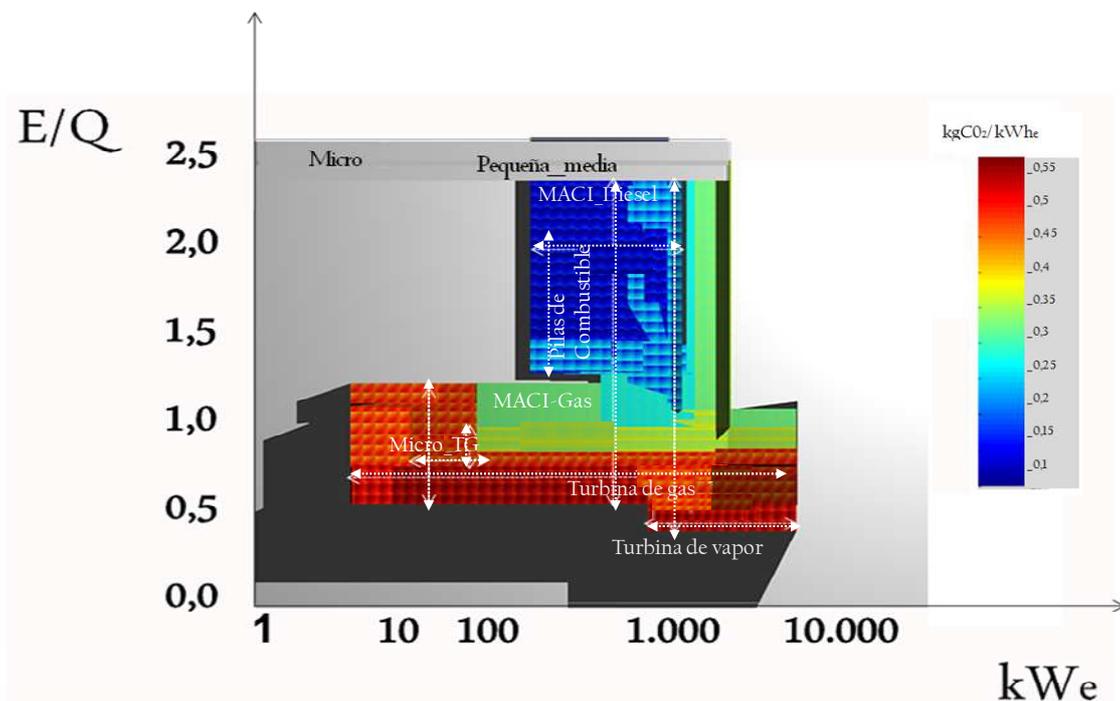


Figura 3.2. Rango de variación E/Q y de potencia de la oferta “altamente eficiente” actualmente disponible. Grafica de elaboración propia con datos obtenidos de la herramienta de cálculo: “EPA CHP Emissions Calculator”, que determina las emisiones de CO₂ de los sistemas altamente eficientes. Disponible en: <http://www.epa.gov/chp/basic/calculator.html>.

La generación de energía a pequeña escala tiene una potencia instalada inferior a $[1000 kW_e]$. Mientras que las unidades de media escala una capacidad máxima de $[5000 kW_e]$. Las tecnologías más usuales a estas escalas son: micro: capacidad máxima $[50 kW_e]$ Cogeneration (CHP), Fotovoltaica, Térmica). Pequeña: capacidad máxima $[1000 kW_e]$; (Esquemas de District Heating, Cogeneration y CHP_District Heating, Hidro, Fotovoltaica, térmica (RES). Media: capacidad máxima $[5000 kW_e]$, (Esquemas District heating y CHP a gran escala, Hidro, Eólica, Biomasa, Fotovoltaica, Térmica, RSU Large [8-12].

Definidos los tres parámetros sobre los ejes de coordenadas ($x=kW_e$, $y=E/Q$, $z=kgCO_2/kWh_e$) en una primera evaluación del posible margen de variación de dicha oferta

“actualmente disponible”, hemos observado como la escala de la eficiencia en escenarios energéticos a escala del actual sector de la edificación se localiza dentro de una estrecha franja que marca una clara tendencia a la escala intermedia, donde el parámetro indicativo de la producción de electricidad versus producción de calor (E/Q), tiende a ser elevado.

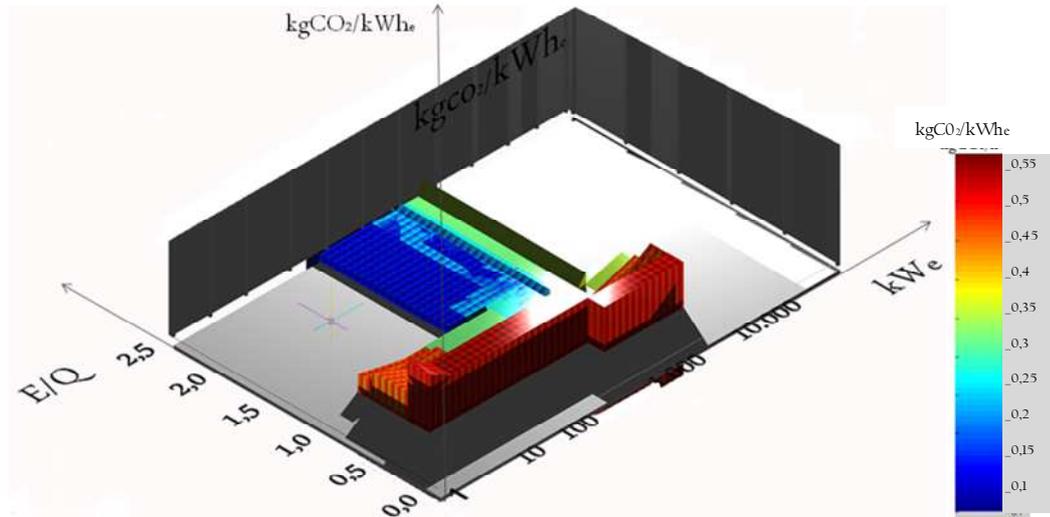


Figura 3.3. Oferta energética “altamente eficiente”, actualmente disponible, en función de los parámetros: KW_e , E/Q , $kgCO_2/kWh_e$. Gráfica de elaboración propia con datos obtenidos de la herramienta de cálculo: “EPA CHP *Emissions Calculator*”, que determina las emisiones de CO_2 de los sistemas altamente eficientes. Disponible en: <http://www.epa.gov/chp/basic/calculator.html>.

Fuente de energía	Tecnología	Tipo de energía	Sistemas de Energía			E/Q	KgCO ₂ /kW _{he}	kW _e	Aplicación		
			Fuente de energía	Output	Estado de desarrollo				Aplicación Típica		
Biomasa	Combustión Directa	RES	Madera/ Cultivos energéticos/Residuos Sólidos Urbanos	Electricidad/calor	Comercial	~1.0	30 kW-5000 kW	Sistemas de CHP para pequeños municipios: 5 MW, consumo de madera 1, 5kg/kWhe (Ciclo orgánico de Rankine (ORC), Motor Stirling, Turbina de vapor)			
	Gasificación	RES		Electricidad/calor	En desarrollo			~1.0	<25 MW	Esquema de distrito a gran escala Producción de biogás por CHP (Motor de combustión interna o Turbinas de Gas)	
	Pirólisis Rápida	RES		Electricidad/calor	En desarrollo			~1.0	-	biomasa con alto grado de humedad para la producción de biogás (Motor de combustión interna)	
Geotérmica	uso directo	RES	Calor geotérmico	Calor	Comercial	~1.0	-	El agua caliente subterránea 50-150°C puede usarse para district heating, horticultura e invernaderos			
	producción de energía eléctrica	RES		Electricidad	Comercial			-	El agua caliente subterránea >150°C se utiliza para generar energía eléctrica		
Lanfill gas	Lanfill gas CHP	RES	Lanfill gas	Electricidad/calor	Comercial		2-15 MW	Esquema de pequeña escala, equivalente a el uso de electricidad de 10.000 viviendas, esquemas a gran escala > 10 Mwe			
Biogas	Digestión anaeróbica	RES	Aguas residuales (gas de clarificación)	Electricidad/calor	Comercial		<2 MW	Digestores Anaeróbicos para generar electricidad o calor desde 70m ³ a 5, 000 m ³			
Eficiencia Energética	μCHP	RUE	Ahorro de energía	Electricidad/calor	En desarrollo	-0.3 o ~0.5	0.4	1 kW-5kW	Escala residencial: Cogeneración para electricidad y ACS (eff 70%) (Pila de combustible (PEMFC, SOFC))		
Eficiencia Energética	μCHP	RUE	Ahorro de energía	Electricidad/calor	Comercial	-0.3 o ~0.5	0.45	1kW-6kW	Escala residencial: Cogeneración para electricidad y ACS (Motor Alternativo)		
Eficiencia Energética	μCHP	RUE	Ahorro de energía	Electricidad/calor	Comercial	-0.3 o ~0.5	0.35-0.45	0.8 kW-9.5 kW	Escala residencial: Cogeneración para electricidad y ACS (Motor Stirling)		
Eficiencia Energética	CHP	RUE	Ahorro de energía	Electricidad/calor	Comercial	~1.0		1MW-40 MW	Escala de sistemas district heating (Turbina de Gas)		
Geotérmica	Bomba de calor geotérmica	RES	Calor geotérmico	Calor	Comercial			0.5 kW-30 kW	Edificios residenciales y comerciales, ahorro en calefacción /refrigeración del 20-40% con respecto a las bombas de calor aire		
Biomasa	Combustión	RES	Madera	Calor	Comercial			-	Estufas de pellets para aplicaciones a escala residencial		
Solar	Solar Térmica	RES	Energía Solar	Calor	Comercial			2kW-100 kW	Escala residencial-ACS y calefacción; Escala de Barrio: District Heating; District Heating-CHP; District Heating-CHP-Acumulación Estacional (CSHPSS) / barrio; Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica (ASETE):Depósito Subterráneo de Agua Caliente, acumulador de Arena-agua, Sistema geotérmico BHE y acumulador en acuíferos		
	Fotovoltaica	RES		Electricidad	Comercial				3kW-3MW	Esquema planta FV a pequeña escala conectadas a la red	
Eficiencia Energética	CHP/district heating	RUE	Ahorro de energía	Electricidad/calor	Comercial	~1.0		20 kW-4MW	Escala: Pequeña y Media . distrito y agrupación de edificios		
	Trigeneración/CCHP	RUE		Electricidad/calor	En desarrollo	~1.0		300 kW-5000kW	CHP, District heating & cooling para áreas residenciales o industriales		

RES: Fuente de energía renovable

RUE: uso racional de energía

Tabla 3.1. Sistemas de Referencia de la Oferta Energética actualmente disponible. Tabla de elaboración propia sustentada en datos de las sigs. Fuentes: [7, 9, 12, 15, 18, 38, 40, 43, 44, 49, 50, 53, 55, 56, 65, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80]

3.3.1.1 Sistemas para bloques de viviendas y Escala media

La capacidad máxima de la media escala es: [5000kW]. La conforman Esquemas de District heating y CHP de pequeña y media escala, Biomasa, Fotovoltaica, Solar Térmica, RSU Large[8-12].

En la actualidad, la integración de fuentes de energía del entorno local (Fuentes de energía Renovable (RES), residuos de energía de baja temperatura y otras fuentes de energía), así como otros procesos de energía que pueden investigarse más a fondo dentro de los límites de la escala intermedia, requieren de sistemas altamente eficientes como son: DH o DH&C, CHP (con una relación E/Q ~1).

Esta vinculación entre las fuentes RES y los sistemas altamente eficientes permite estabilizar las fluctuaciones de la producción eléctrica y térmica, y evita las pérdidas de energía así como los excedentes de producción de energía eléctrica.

La capacidad máxima de la escala pequeña es: [1000kW]. Está conformada por esquemas de District Heating, Cogeneration y CHP_ District Heating, Biomasa, Fotovoltaica, energía solar térmica (RES).

A esta escala los sistemas District Heating y trigeneración (CHP_ District Heating and cooling), CHP (con una relación E/Q que supera el 0.5), generan la posibilidad de establecer un uso adecuado a los residuos de energía térmica [13, 14], así como la de estabilizar las fluctuaciones de la generación de energía eléctrica y térmica de los sistemas RES.

Cogeneración (CHP)

CHP: único combustible Input, doble Output (calor, electricidad). La cogeneración es la generación secuencial o simultánea de diversas formas de energía útil (generalmente eléctrica y térmica). Un sistema de CHP consiste en: un “prime mover” (motor térmico), generador, recuperador de calor, e interconexión eléctrica. El equipo que maneja el sistema global “prime mover”, por lo general se identifica como el sistema de cogeneración. Estos motores térmicos son capaces de utilizar una variedad de combustibles, entre estos, el gas natural y combustible alternativo para producir electricidad o energía térmica. A pesar que la energía mecánica del motor térmico es la más utilizada para accionar el generador que produce electricidad, este también puede utilizarse para manejar un equipo rotativo como compresoras, bombas y ventiladores. La energía térmica del sistema puede utilizarse en aplicaciones de procesos directos o indirectos para producir vapor, agua caliente, aire frío o seco, o enfriadora de agua por proceso de refrigeración [52, 53].

La siguiente figura muestra las ventajas en eficiencia de los sistemas de CHP en relación al sistema de generación tradicional centralizada y calderas individuales. Cuando se considera

tanto el proceso térmico como eléctrico, CHP generalmente requiere de $\frac{3}{4}$ de la energía primaria que la que se necesita en sistemas separados de generación de electricidad y calor (SHP) [15]. Los sistemas de CHP utilizan menos combustible que la generación por separado, dando como resultado el mismo nivel de output, y menos emisiones de CO₂.

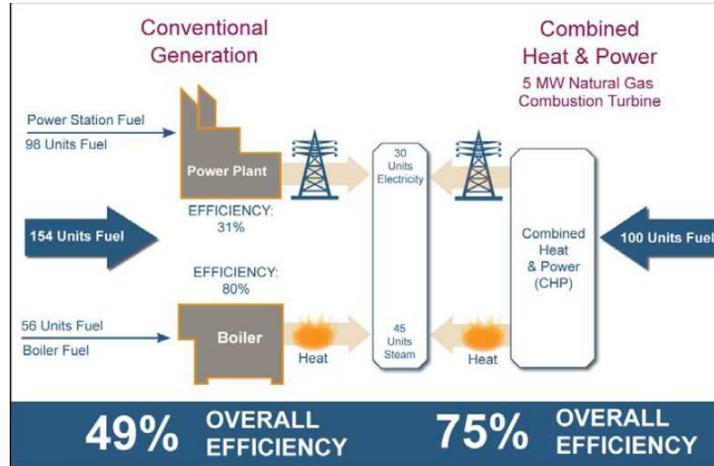


Figura 3.4. Cogeneración (CHP) Vs. generación separada de energía eléctrica (SHP). Este esquema incluye las pérdidas de energía en el proceso de distribución. [15].

Una típica central de carbón genera electricidad con eficiencias del 33-35%. Las centrales térmicas de carbón pulverizado alcanzan eficiencias del 48%, mientras que las centrales de ciclo combinando alcanzan una eficiencia del 50%. El existente “estado del arte” de las plantas de gas natural tienen una eficiencia de entre 55-60%. En contraste, a través de la cogeneración pueden alcanzarse eficiencias de producción del 80-90% [15, 52].

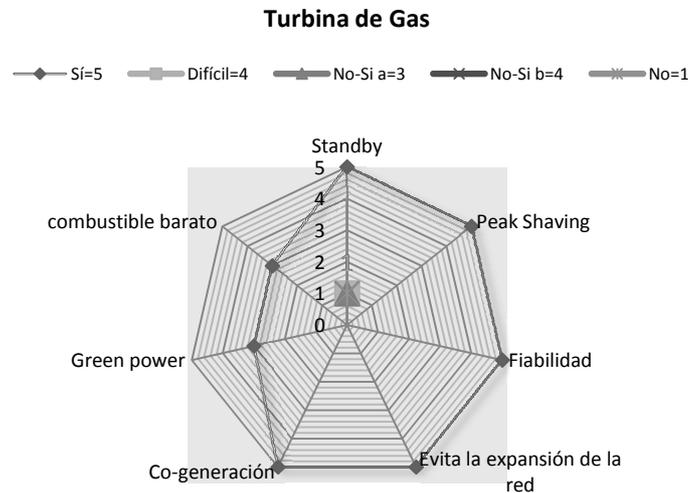
De este modo, el ahorro de energía primaria de los sistemas de CHP puede ser un medio eficaz en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector. Sin embargo, estos beneficios están fuertemente relacionados con las características de la escala de la eficiencia en la edificación. Las soluciones de CHP dependen en gran parte de la presencia de una demanda de vectores simultáneos de energía (energía eléctrica y térmica y en su caso térmica para la refrigeración), a lo largo del año, lo que puede también cumplirse en esquemas a escala pequeña mediante aplicaciones de sistemas DH o DHC[54].

Sin embargo, la escala intermedia puede dar lugar a una excelente eficiencia global y dar como resultado un significativo ahorro de energía primaria con respecto a la producción por separado de electricidad y energía térmica (SHP).

Sobre la base de la adecuación de la escala y la óptima combinación de energía eléctrica y térmica, los sistemas de CHP pueden tener un importante rol en el establecimiento de nuevas perspectivas de los sistemas de energía.

Sistemas de Cogeneración (CHP) para bloques de viviendas y escala de barrio.

Cogeneración (CHP): Turbina de gas



Standby= es una medida de la capacidad de reserva o capacidad de uso continuo del sistema, es decir, la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima en un periodo determinado. Seguridad en el suministro de energía.

Peak Shaving= Flexibilización de la capacidad de suministro en periodos de demanda pico.

Fiabilidad= Capacidad de proporcionar seguridad contra las interrupciones en el suministro de energía y contrarrestar las caídas de tensión.

Evita la expansión de la red= nivel de control de la expansión de la red eléctrica.

Co-generación= Potencial de generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

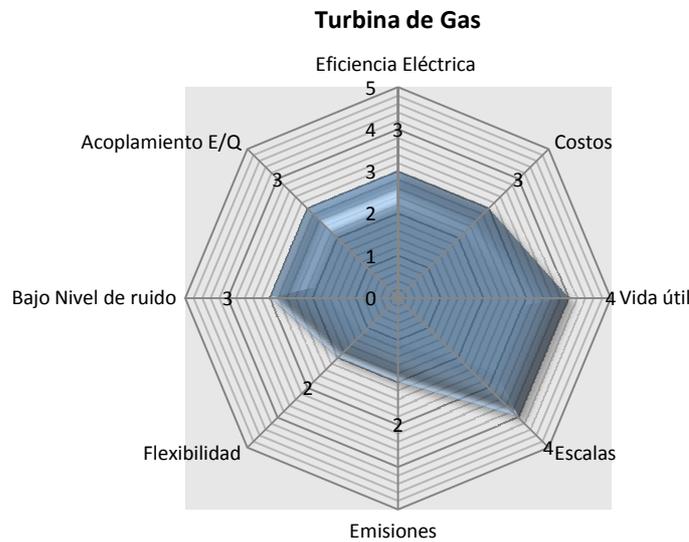
Green Power= capacidad de uso de energías renovables.

Combustible barato= Flexibilidad en el uso de combustibles baratos (Ejem: recursos energéticos del entorno local).

Figura 3.5. Sistema de cogeneración (CHP) mediante turbina de gas y su potencial beneficio. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [7].

Los sistemas de CHP basados en Turbinas de Gas operan en el ciclo termodinámico conocido como Brayton. En un ciclo Brayton, el aire atmosférico se comprime, calienta y expande, con el excedente de energía generada por la turbina de gas. La energía generada por una turbina y utilizada por el compresor es proporcional a la temperatura absoluta del gas al pasar a través del mecanismo.

La elevada temperatura y presión dan como resultado una alta eficiencia y potencia específica. Por lo tanto, las tendencias en materia de I&D de las turbinas de gas ha sido la combinación de elevada presión y temperatura.



Eficiencia eléctrica Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%.

$$REE = \frac{W_{net}}{F - \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{1 - (\frac{Q_u}{\eta_q F})}$$
 Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. **Bajo nivel de ruidos:** nivel de ruido producido por el sistema. **Vida útil:** Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. **Emisiones:** potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. **Bajo nivel de ruido:** Relacionado con la condición estática del sistema. **Flexibilidad:** capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. **Acoplamiento E/Q:** capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. **Vida útil:** Periodo de operación del sistema

Figura 3.6. Evaluación de la Turbina de gas mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de (mal) a 5 (bien). Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [12, 15, 40, 44, 53].

Características de Diseño:

Output Térmico: las turbinas de gas producen output térmico de elevada calidad (elevada temperatura), adecuada para algunas de las aplicaciones de generación combinada de energía eléctrica y térmica a escala de distrito. El vapor de elevada presión suele utilizarse directamente para procesos de calefacción y secado.

Flexibilidad del combustible: estos sistemas operan con gas natural, landfill gas. **Fiabilidad y vida útil:** En la actualidad las turbinas de gas han demostrado su fiabilidad con un

mantenimiento adecuado. Tiempo de revisión generalmente de 25,000 a 50,000 hrs. Rango de escalas: están disponibles en escalas desde 500 kW_e a 250 MW_e.

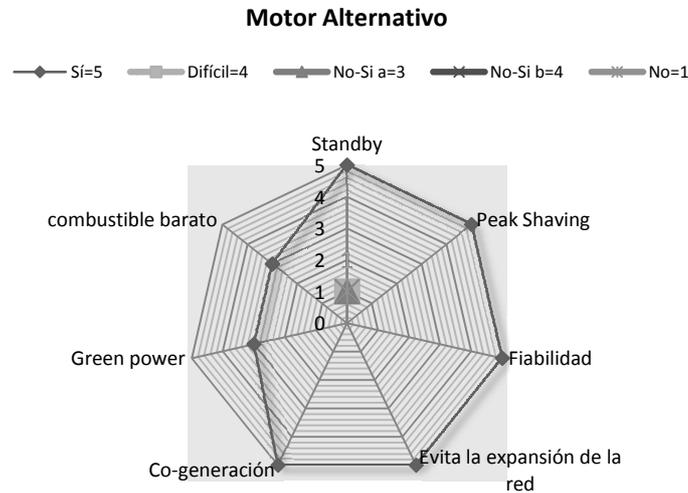
Emisiones: Muchas turbinas que utilizan gas natural cuentan con “premixed burners” que producen baja emisión de NO_x, (<25 ppm), y bajo nivel de emisión de CO, en el rango de 10 a 50 ppm. La reducción catalítica selectiva (RCS) o combustión catalítica reduce aun más las emisiones de NO_x.

Operación a carga parcial: puesto que las turbinas de gas reducen la producción output con la reducción de la temperatura de combustión, la eficiencia a carga parcial puede ser substancialmente inferior que la eficiencia a plena carga.

RENDIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN (HHV)	RENDIMIENTO GLOBAL (HHV)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO EFECTIVO	POTENCIA ELÉCTRICA (MWe)	RELACIÓN ELECTRCIDAD CALOR (E/Q)	PART-LOAD	COSTE INSTALADO(\$/kWe)	COSTE DE O&M (\$/kWe)	DISPONIBILIDAD
22-36%	70-75%	50-70%	0.5-250	0.5-2	pobre	970-1,300	0.004-0.011	90-98%
Hours to overhauls	Start-up time	Presión (psig)	Combustible	Ruido	Usos para el output térmico	(5-40 MW)	NO _x (lb/MMBtu) (not including SCR)	lb/MWhTotalOutput (not including SCR)
25,000-50,000	10 min - 1 hr	100-500 (compressor)	natural gas, biogas, propane, oil	moderado	heat, hot water, LP-HP steam	20-500	0.036-0.05	0.17-0.25

Tabla 3.2. Características de la Turbina de Gas. [12].

Cogeneración (CHP): Motor Alternativo



Standby= es una medida de la capacidad de reserva o capacidad de uso continuo del sistema, es decir, la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima en un periodo determinado. Seguridad en el suministro de energía.

Peak Shaving= Flexibilización de la capacidad de suministro en periodos de demanda pico.

Fiabilidad= Capacidad de proporcionar seguridad contra las interrupciones en el suministro de energía y contrarrestar las caídas de tensión.

Evita la expansión de la red= nivel de control de la expansión de la red eléctrica.

Co-generación= Potencial de generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

Green Power= capacidad de uso de energías renovables.

Combustible barato= Flexibilidad en el uso de combustibles baratos (Ejem: recursos energéticos del entorno local).

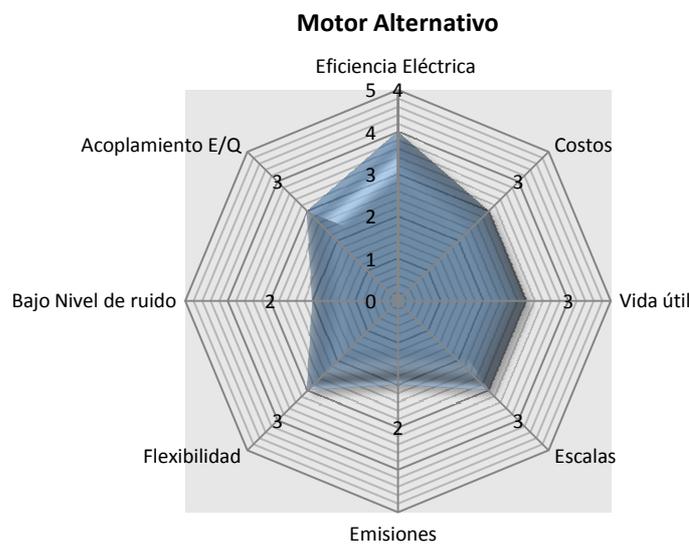
Figura 3.7. Sistema de cogeneración (CHP) mediante Motor Alternativo y su potencial beneficio. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [7].

Un motor alternativo, también a menudo conocido como motor de pistón, es un motor que utiliza el movimiento alternativo de uno o más pistones para convertir la presión en un fluido en trabajo, generalmente en forma de movimiento de rotación. Son los equipos empleados en la producción simultánea de energía eléctrica y térmica con más altos rendimientos eléctricos

Aun cuando se espera que el uso del motor alternativo tenga lugar en diversas aplicaciones de la Generación Distribuida, la aplicación de generación en sitio que predomina ha sido tradicionalmente la cogeneración, y esta tendencia probablemente continuará. La viabilidad económica de los motores de gas se ve forzada por el uso efectivo de la energía térmica contenida en los gases de escape y el sistema de refrigeración. Lo que generalmente representa el 60 al 70% del input del combustible de energía.

Características de diseño:

Las características que han hecho del motor alternativo un sistema líder de aplicaciones de CHP y otros sistemas de generación distribuida, incluyen las siguientes:



Eficiencia eléctrica Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%.

$$REE = \frac{W_{net}}{F \cdot \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{1 - (\frac{Q_u}{\eta_q})}$$
 Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. **Bajo nivel de ruidos:** nivel de ruido producido por el sistema. **Vida útil:** Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. **Emisiones:** potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. **Bajo nivel de ruido:** Relacionado con la condición estática del sistema. **Flexibilidad:** capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. **Acoplamiento E/Q:** capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. **Vida útil:** Periodo de operación del sistema.

Figura 3.8. Evaluación del Motor Alternativo mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de 1 (mal) a 5 (bien). Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [12, 15, 40, 44, 53].

Rango de Escalas. El motor alternativo está disponible en rangos de 10 kW_e a 5 MW_e. **Output Térmico:** puede producir agua caliente y vapor de baja presión.

Rápida puesta en marcha: La capacidad de rápida puesta en marcha de un motor alternativo permite la rápida reanudación del sistema después de un proceso de mantenimiento. Este sistema puede suministrar electricidad respondiendo rápidamente a los cambios de la demanda en sitio. Por ejemplo, en periodos pico o de emergencia.

Capacidad de arranque autógeno (proceso de restauración): El motor alternativo necesita de un mínimo de requisitos de alimentación auxiliar en caso de un evento de corte de la energía eléctrica. Generalmente solo se necesitan baterías.

Disponibilidad: Estos sistemas han demostrado una disponibilidad superior al 95% en aplicaciones estacionarias de generación de energía.

Operación a carga-parcial: la elevada eficiencia a carga-parcial asegura la operación económica en las aplicaciones del seguimiento de la carga eléctrica.

Fiabilidad y vida útil: El motor alternativo ha demostrado ser un generador confiable con un mantenimiento adecuado.

Emisiones: el Motor Diesel (motor alternativo) tiene un nivel elevado de emisiones de NO_x y partículas. Sin embargo, el motor speak ignition (motor alternativo) tiene un perfil de emisiones más favorable.

RENDIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN (HHV)	RENDIMIENTO GLOBAL (HHV)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO EFECTIVO	POTENCIA ELÉCTRICA (MWe)	RELACIÓN ELECTRCIDAD CALOR (E/Q)	PART-LOAD	COSTE INSTALADO(\$/kWe)	COSTE DE O&M (\$/kWe)	DISPONIBILIDAD
22-40%	70-80%	70-80%	0.5-250	0..01-5	ok	1,100-2,200	0.009-0.022	92-97%
Hours to overhauls	Start-up time	Presión (psig)	Combustible	Ruido	Usos para el output térmico	Superficie de Instalación (kW/m ²)	NO _x (lb/MMBtu) (not including SCR)	lb/MWhTotalOutput (not including SCR)
25,000-50,000	10 seg	1./45	natural gas, biogas, propane, landfill gas	Elevado	hot water, LP steam	35-50	0.013 rich burn 3-way cat. 0.17 lean burn Wood 0.2-.5 Coal 0.3-1.2	0.06 rich burn 3-way cat. 0.8 lean burn Wood 0.9-1.4 Coal 1.2-5.0.

Tabla 3.3. Características del Motor Alternativo [12].

Cogeneración (CHP): Turbina de vapor

Una turbina de vapor es una turbo máquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético. Las turbinas de vapor están presentes en diversos ciclos de potencia que utilizan un fluido que pueda cambiar de fase. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, normalmente, se transmite a un generador para producir electricidad.

Mientras que las turbinas de vapor en sí mismas son competitivas comparadas con otros sistemas, los costos del sistema completo de CHP es elevado sobre la base de su capacidad por kW_e . Esto se debe a los bajos valores temporales del parámetro E/Q , a los costos de las calderas, al manejo del combustible y al sistema de vapor global. Por lo tanto, las turbinas de vapor se adaptan mejor a media y gran escala y en aplicaciones de combustibles de bajo costo como la biomasa, los residuos sólidos y las virutas de madera, etc.

En la actualidad, las turbinas de vapor pueden ser opciones competitivas en una amplia variedad de escenarios, dependiendo de la presión, de la temperatura del vapor y de las demandas térmicas en sitio.

Los sistemas de CHP-Turbina de vapor se utilizan principalmente donde suelen estar disponibles los residuos sólidos. En aplicaciones de CHP, el vapor se extrae de la turbina de vapor y se utiliza directamente en un proceso, para sistemas de district heating o puede convertirse en otras formas de energía térmica incluyendo agua caliente o agua fría.

Muchas ciudades cuentan con sistemas de vapor de “district heating”, en donde la adición de una turbina de vapor entre la caldera y el sistema de distribución ha resultado ser una aplicación atractiva. Con frecuencia la caldera es capaz de producir vapor de moderada presión pero el sistema de distribución necesita solo de baja presión. En estos casos la turbina de vapor genera electricidad utilizando el vapor de elevada presión, y las descargas del vapor de baja presión se utilizan en el sistema de distribución.

Características de diseño:

Diseño: las turbinas de vapor pueden diseñarse para que se ajusten con las demandas de presión y temperatura, así como para maximizar el rendimiento eléctrico mientras proporciona el output térmico deseado.

Output Térmico: Estos sistemas son capaces de operar sobre en un amplio rango de presiones de vapor, y pueden diseñarse para suministrar las necesidades térmicas de las aplicaciones de CHP con el uso de contra presión o extracción de vapor mediante una adecuada presión y temperatura.

Flexibilidad del combustible: estos sistemas ofrecen un amplio rango de flexibilidad de combustible usando una variedad de fuentes de energía que incluyen el gas natural, la madera y productos de desecho.

Fiabilidad y vida útil. La vida útil de las turbinas de vapor suele ser larga. Hay turbinas de vapor que han operado durante 50 años. Los intervalos de revisión se miden en años. Cuando se operan y se les da mantenimiento correctamente, estos sistemas suelen ser muy fiables.

Rangos de escalas: están disponibles en escalas desde < 100 kW_e a > 250 MW_e.

Emisiones: las emisiones asociadas con este sistema dependen de la fuente de vapor. Estas turbinas pueden utilizar una gran variedad de fuentes de combustible o utilizarse conjuntamente con una turbina de gas.

RENDIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN (HHV)	RENDIMIENTO GLOBAL (HHV)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO EFECTIVO	POTENCIA ELÉCTRICA (MWe)	RELACIÓN ELECTRICIDAD CALOR (E/Q)	PART-LOAD	COSTE INSTALADO(\$/kW _e)	COSTE DE O&M (\$/kW _{he})	DISPONIBILIDAD
15-38%	80%	75%	0.5-250	0.1-0.3	ok	430-1,100	<0.005	cerca de 100%
Hours to overhauls	Start-up time	Presión (psig)	Combustible	Ruido	Usos para el output térmico	Superficie de Instalación (kW/m ²)	NOx (lb/MMBtu) (not including SCR)	lb/MWhTotalOutput (not including SCR)
>50,000	1 hr - 1 día	n/a	todos	Elevado	LP-HP steam	>100	Gas 0.1-.2 Madera 0.2-.5 Coal 0.3-1.2	Gas 0.4-0.8 Madera 0.9-1.4 Coal 1.2-5.0.

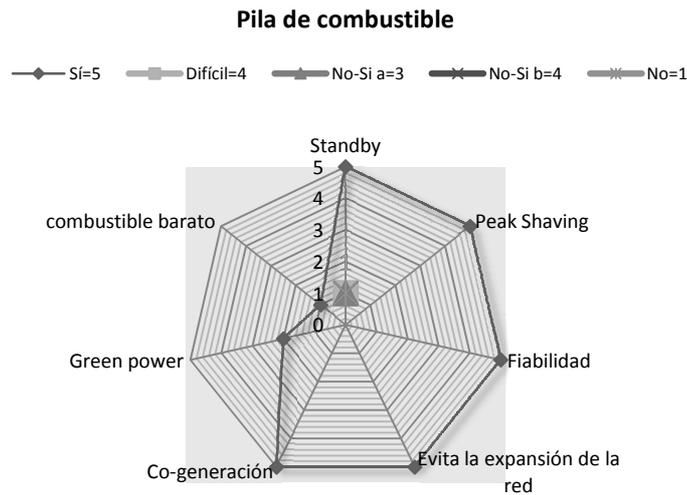
Tabla 3.4. Características de las Turbinas de vapor [12].

Cogeneración (CHP): Pila de Combustible

Las pilas de combustible producen electricidad de corriente continua mediante un proceso electroquímico. Los reactivos más típicos son el hidrogeno y el oxigeno, se introducen dentro del reactor, y la energía se genera siempre que estos reactivos se suministren. El

hidrogeno (H₂) se genera típicamente de un combustible de hidrocarburo como el gas natural, y el oxígeno (O₂) procede del medioambiente [55, 56].

Las pilas de combustible han sido etiquetadas como una tecnología clave, no solo por su alta eficiencia en la generación de electricidad y calor, sino por su rol potencial en la transformación de actual sistema de suministro de energía.



Standby= es una medida de la capacidad de reserva o capacidad de uso continuo del sistema, es decir, la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima en un periodo determinado. Seguridad en el suministro de energía.

Peak Shaving= Flexibilización de la capacidad de suministro en periodos de demanda pico.

Fiabilidad= Capacidad de proporcionar seguridad contra las interrupciones en el suministro de energía y contrarrestar las caídas de tensión.

Evita la expansión de la red= nivel de control de la expansión de la red eléctrica.

Co-generación= Potencial de generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

Green Power= capacidad de uso de energías renovables.

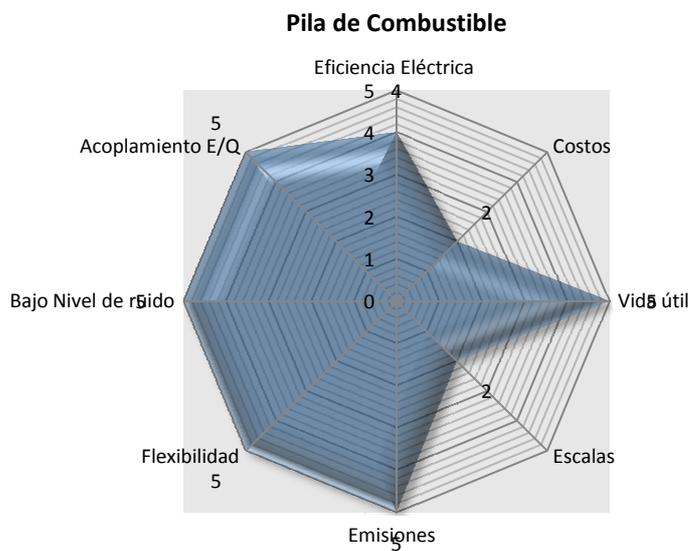
Combustible barato= Flexibilidad en el uso de combustibles baratos (Ejem: recursos energéticos del entorno local).

Figura 3.9. Sistema de cogeneración (CHP) mediante pila de combustible y su potencial beneficio. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [9].

Debido a los altos costos de instalación de las pilas de combustible, la aplicación más frecuente de los sistemas de generación distribuida es la generación de energía en sitio en combinación con la recuperación y uso del sub producto de calor (CHP). La operación continua y el uso efectivo de la energía térmica contenida en los gases de escape y subsistemas de refrigeración mejoran la viabilidad técnica-económica de las aplicaciones de generación en sitio.

El calor generalmente se recupera en la forma de agua caliente o vapor de baja-presión (<30 psig), pero la calidad del calor depende del tipo de pila de combustible y de la temperatura de operación. La única excepción a esta regla, es la pila de combustible PEM, que opera a temperaturas inferiores de los 200° F y por lo tanto solo genera calor de baja calidad. En general, la energía térmica que se recupera del sistema de la pila de combustible es adecuado para procesos de baja temperatura, calefacción y calentamiento de agua potable. En el caso de de las tecnologías de SOFC y MCFC, el vapor de media presión (hasta 150 psig) puede generarse de las pilas de combustible de elevada temperatura.

Características de diseño:



Eficiencia eléctrica Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%. $REE = \frac{W_{net}}{F - \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{1 - (\frac{Q_u}{\eta_q})}$ Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. **Bajo nivel de ruidos:** nivel de ruido producido por el sistema. **Vida útil:** Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. **Emisiones:** potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. **Bajo nivel de ruido:** Relacionado con la condición estática del sistema. **Flexibilidad:** capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. **Acoplamiento E/Q:** capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. **Vida útil:** Periodo de operación del sistema

Figura 3.10. Evaluación de la Pila de combustible mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de 1 (mal) a 5 (bien). Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [12, 15, 18, 55, 56].

Las características que hacen de las pilas de combustible sistemas líderes para la aplicación de CHP y generación distribuida incluyen las siguientes:

Rango de escalas: las pilas de combustible se construyen a partir de células modulares que permiten que los sistemas cuenten con una flexibilidad extrema en la capacidad. Los rangos

de estos sistemas a escala pequeña y media van desde los 200 kW_e hasta 1000 kW_e. Múltiples sistemas pueden operar en paralelo en un mismo sitio para incrementar la capacidad del sistema.

	ESCALA(kW _e)	EFICIENCIA ELÉCTRICA		EFICIENCIA GLOBAL		E/Q	
		HOY (%)	FUTURO (%)	HOY (%)	FUTURO (%)	HOY (E/Q)	FUTURO (E/Q)
PAFC	200	37	37	87	87	0.74	0.74
PEMFC	250	35	42	76	84	0.85	1
MCFC	250	50	52	86	86	1.39	1.53
MCFC+TV	250-1000	55	56	90	90	1.57	1.65
SOFC	250-1000	47	49	80	85	1.42	1.36
SOFC, PRESSURISED	250-1000	52	54	80	85	1.86	1.74
SOFC+TG	250-1000	58	60	80	85	2.64	2.4

TV: TURBINA DE VAPOR; TG: TURBINA DE GAS.

Tabla 3.5. Características técnicas de diferentes configuraciones de las pilas de combustible (el futuro se refiere ~2030) [18].

Output Térmico: las pilas de combustible pueden alcanzar una eficiencia global en el rango del 65 al 85%. Los residuos de calor puede utilizarse principalmente para aplicaciones de ACS y calefacción.

Disponibilidad: los sistemas de 200 kW_e han demostrado mas del un 90% de disponibilidad durante más de 8 millones de horas de funcionamiento.

Operación a carga-parcial: La eficiencia de las pilas de combustible mejora con la disminución de la carga, lo que da como resultado un rendimiento eléctrico del sistema relativamente estable hasta un tercio o un cuarto de la capacidad nominal. Esto proporciona al sistema excelentes características de carga.

Cycling: mientras que el rendimiento de la carga parcial de las pilas de combustible es generalmente elevado, las células MCGC y SOFC requieren de largos periodos de heat -up y cool-down, lo que restringe su habilidad de operar en muchas aplicaciones cíclicas.

Fiabilidad y vida útil: Aun cuando los sistemas tienen pocas partes móviles, el ensamblaje de la pila es complejo y se han tenido problemas con sellos y circuitos eléctricos. La vida útil de los sistemas de las Pilas de combustible se asume que son 15 años.

Eficiencia: Cada tipo de pila de combustible se caracteriza por un nivel de eficiencia. Los rangos de rendimiento eléctrico van desde 30 hasta cerca de 50 por ciento HHV.

Funcionamiento silencioso: nivel de conversión (60dB a 30 pies), aceptable para una instalación interior.

Combustible: la fuente de combustible es el hidrogeno, que puede obtenerse a partir del gas natural, metanol y otros combustibles que contengan hidrocarburos.

RENDIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN (HHV)	RENDIMIENTO GLOBAL (HHV)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO EFECTIVO	POTENCIA ELÉCTRICA (MWe)	RELACIÓN ELECTRCIDAD CALOR (E/Q)	PART-LOAD	COSTE INSTALADO(\$/kWe)	COSTE DE O&M (\$/kWhe)	DISPONIBILIDAD
30-63%	55-80%	55-80%	0.005-2	1.-2.	buena	5,000-6,500	0.032-0.038	>95%
Hours to overhauls	Start-up time	Presión (psig)	Combustible	Ruido	Usos para el output térmico	(5-40 MW)	NOx (lb/MMBtu) (not including SCR)	lb/MWhTotalOutput (not including SCR)
32,000-64,00	3 hrs - 2 días	0.5-45 (compressor)	hydrogen, natural gas, propane, methanol	bajo	hot water, LP-HP steam	5.-20	0.0025-.0040	0.011-0.016

Tabla 3.6. Característica de la Pila de Combustible [12].

District Heating (DH)

Los sistemas de district heating utilizan instalaciones centralizadas para suministrar energía térmica a un conjunto de edificios o escala de barrio. El sistema consiste en una red de tuberías subterráneas aisladas que transportan agua caliente y/o vapor, que se produce o extrae de diversos sitios próximos al punto de consumo.

El potencial de los sistemas de district heating puede aumentar si las demandas específicas de los edificios se modulan y reducen. Una investigación llevada a cabo por SINTEF Energy Research, concluyó que mediante estrategias de eficiencia energética aplicadas en los edificios se afectan la demanda de DH, lo que puede anticiparse antes de su desarrollo en algunas ciudades.

La ventaja de los sistemas de district heating sobre sistemas a escala micro, incluyen mejoras en la eficiencia, reducción del impacto al medioambiente, confiabilidad y disminución de costos.

En periodos de año en que la demanda térmica disminuye en un promedio del 30%, pueden utilizarse calderas. A medida que varia la carga, también lo hará el número de calderas operativas.

Sin embargo, la ganancia en eficiencia de este sistema respecto al sistema descentralizado a escala micro, podría disminuir por las pérdidas de energía que pueden llegar a producirse en las tuberías que conectan los edificios al sistema de generación. Estas pérdidas de energía pueden llegar a estar en el orden de 5-10% dependiendo de la distancia de transmisión, el aislamiento de las tuberías y si el sistema se basa en agua caliente o vapor. Las pérdidas de calor pueden ser mayores, especialmente si no se da el mantenimiento necesario al sistema de distribución, anulando así el beneficio de una operación de este sistema.

Para asegurar que existe una ganancia neta de eficiencia comprada con otra alternativa, el sistema de DH debería combinarse con cogeneración siempre y cuando desplace la energía eléctrica que se genera mediante combustibles fósiles y sea diseñado para aprovechar otras fuentes de calor. Las redes de DH-CHP está ampliamente promovida y por lo general ofrecen una alta eficiencia global comparada con la generación separada de energía eléctrica y térmica.

Al igual que con un sistema de calefacción a escala de edificio, el agua de retorno del sistema debería ser lo más fría posible para maximizar la eficiencia de la planta o para maximizar la cantidad de calor que puede extraerse de otras fuentes de calor. Esto a su vez requerirá del correcto diseño de la envolvente térmica del edificio (para minimizar la temperatura de suministro requerida).

Capacidad de aprovechamiento de otras Fuentes de energía

La red de district heating que suministra energía térmica a un conjunto de edificios o barrio puede aprovechar el calor de fuentes dispersas. Algunos ejemplos locales pueden incluir agua superficiales, aguas subterráneas, calor geotérmico o las plantas de tratamiento de aguas residuales (esta agua sería de varios grados por encima de cero, incluso en el invierno), etc.



Figura 3.II. Integración de Fuentes de energía del entorno local (fuentes de energía renovable, residuos de energía de baja temperatura, energía geotérmica, aguas superficiales y subterráneas, etc.), así como otros procesos que pueden investigarse más a fondo dentro de los límites del barrio, requiere actualmente de sistemas de suministro altamente eficientes nivel de comunidad, como DH o DH&C, CHP. Sin embargo, solo la reestructuración del sistema de energía y una considerable reducción de la demanda permitiría un mayor incremento de RES y limitará el uso de sistemas de CHP.

El calor de estas fuentes de energía suele estar a una temperatura inferior que la que se distribuye mediante el sistema de district heating, por lo tanto se necesitan bombas de calor para transferir la energía térmica de estas fuentes a la red de distribución. En Tokio, las aguas residuales tienen una temperatura alrededor de los 16°C en Febrero y se utilizan como una fuente de energía para la producción de agua caliente a 47°C con un COP 3.9 en una pequeña red de district [16]. Más del 20% del calor de district heating en Gothenberg, Suecia, se extrae de los de las aguas residuales [17].

De este modo, el sistema district heating puede funcionar como un corredor de energía térmica. En Suecia, cerca de la mitad del total de la energía térmica output de las bombas de calor provienen de sistemas district heating, generalmente del calor del agua de lagos y aguas residuales [19].

Otra fuente de energía térmica, es el calor geotérmico que queda después de calentar a elevadas temperaturas y que se ha utilizado para la calefacción y agua caliente. Este calor puede aprovecharse mediante una bomba de calor si se cuenta con un sistema de district heating.

Capacidad de distribución a bajas temperaturas.

A fin de aprovechar las fuentes de energía de baja temperatura, se requiere una relativa baja temperatura de distribución (<70°C). Si se convierte a los sistemas de district heating de elevada temperatura a sistemas de baja temperatura para poder utilizar estas fuentes de calor, es necesario tomar disposiciones especiales para asegurar el adecuado suministro de la energía

térmica para los edificios existentes. El envolvente térmico de estos edificios debe actualizarse para que la cantidad y temperatura del calor requerido pueda reducirse.

Posibilidades de la Cascada de energía (reutilización de la energía)

Para maximizar el descenso de la temperatura entre el suministro y el retorno del agua en un sistema de district heating el calor debe ir, en la mayor medida posible, en cascada [67]. Si el calor se suministra a 70°C, se puede ir en cascada a temperaturas progresivamente menores para el uso a temperaturas de suministro de ACS a 55-65°C. Si el calor se suministra a una temperatura cercana a los 35°C, se puede utilizar una bomba de calor in situ para aumentar la temperatura para ACS o para satisfacer los picos de demanda de calefacción. La temperatura más baja del sistema requiere un intercambiador de calor más efectivo entre la planta de energía y el agua caliente de distrito y entre el agua caliente de distrito y el agua caliente del edificio, esto se debe a que el descenso de la temperatura permitida a través de cada intercambiador de calor es menor debido a la baja temperatura inicial.

Posibilidades de la Cascada de energía a escala de barrio.

A nivel de barrio una cascada de energía puede formarse mediante la vinculación de diversos procesos y usos de energía final, en la cual el usuario de mayor calidad de energía está en el tope (estas funciones en algunas ocasiones pueden también estar ubicadas fuera de la zona del barrio) mientras que el usuario de menor calidad de energía (edificio residencial) está en la parte inferior.

La cascada de energía, entre otras cosas, es una manera de usar la energía que de otro modo se perdería. Actualmente existen diversos proyectos de la cascada de energía para los sistemas de district heating en grandes áreas urbanas. En diversos estudios [84-86] parecen ser relevantes los siguientes elementos:

- La cascada de energía es principalmente idónea para las densas zonas urbanas.
- Debe ser un proyecto dinámico, para ser capaz de hacer frente a los cambios contextuales y tecnológicos.
- Definición clara de las intervenciones y estrategias
- El objetivo del proyecto de regeneración debe formar parte de un proyecto integral a nivel de barrio.
- El proyecto debe atraer la atención y motivar a la comunidad local así como a las decisiones de mercado para alcanzar los objetivos.

- un marco político y regulador claro para asegurar la implementación de los objetivos.
- La financiación es muy importante por las elevadas inversiones que se requieren. Sin un soporte de financiamiento será muy difícil implementar el concepto de cascada de energía a escala de barrio
- En lo que concierne al sistema de District Heating parecen ser importantes las siguientes condiciones:
 - Es necesario la proximidad a la industria para proveer suficientes residuos de calor a los sistemas de district heating.
 - La escala de barrio es necesaria para la aplicación eficiente de district heating
 - La infraestructura existente facilita la adecuada aplicación de la cascada de energía. Esta condición no significa que caso contrario la infraestructura de un sistema de district heating sería posible, sin embargo, los costos serían muy elevados.

Es necesario debatir las oportunidades y limitaciones de la cascada de energía como un concepto que tiene un importante potencial a escala de barrio. El concepto de que la escala de la cascada de energía es el barrio, en la actualidad es respaldado por numerosos proyectos piloto, lo que parece ser un paso lógico como un método de transición energética.

Los diversos proyectos de energía existentes demuestran que hay una gran cantidad de iniciativas a escala de barrio. Este ejemplo puede demostrar las condiciones de un correcto procedimiento a este nivel.

LOCALIZACIÓN	ALCANCE	ESCALA	PERIODO DE TIEMPO
HEERLEN, PAÍSES BAJOS	MINE WATER PROJECT (PILOTO)	DISTRITO	2005-2008
SCHOONEBEEK, PAÍSES BAJOS	BIOGÁS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU) Y BIOMASA	DISTRITO (BARRIO)	2004 AL PRESENTE
MALMÓ, SUECIA	GESTIÓN URBANA	DISTRITO	1998-2005 AL PRESENTE
AALBORG, DINAMARCA	DISTRICT HEATING	DISTRITO	1994-AL PRESENTE
GOTEMBURGO, SUECIA	GESTIÓN URBANA	DISTRITO	1993-AL PRESENTE

Tabla 3.7. Descripción de proyectos de cascada de energía dentro de la UE.
Selección de casos de estudio.

Trigeneración. “CHP y District Heating and cooling” (CCHP)

La presencia de un modelo de demanda de tres vectores simultáneos de energía, es decir, electricidad, calor y refrigeración dan lugar a la posibilidad de la introducción rentable de los sistemas de trigeneración, también identificado como “combined coolig, heat and power” (CCHP). El concepto de trigeneración representa la extensión de CHP, es decir, la producción “en sitio” de tres veces el vector de energía demandado por el usuario de energía final vía una única fuente de energía.

Las soluciones clásicas de los sistemas de trigeneración se representan mediante el acoplamiento de un sistema de CHP a una enfriadora por absorción de simple o doble efecto. En este esquema, la potencia térmica se explota también en periodos de baja demanda. De esta manera, es posible contrarrestar una de las mayores deficiencias que a menudo hace de los sistemas de CHP no rentables, es decir, la falta de una demanda térmica durante todo el año. Como consecuencia el sistema principal de CHP puede operar un largo período de tiempo con una carga medianamente elevada, lo que permite un mejor desempeño y menor impacto ambiental. En este sentido, las aplicaciones potenciales incluyen solo el nivel de barrio.

Desde una perspectiva general, es posible observar la trigeneración con una entrada input y múltiples vectores de energía output. Por lo tanto, el problema de la planeación de la generación puede extenderse a incluir el análisis de diferentes equipamientos para la generación eléctrica, térmica y refrigeración, además de los esquemas clásicos de CHP y enfriadoras por

absorción [20, 21, 22, 23]. El análisis de diferentes alternativas de trigeneración (componentes y esquemas) puede ser particularmente interesante cuando la generación de refrigeración es necesaria no solo en el periodo de verano. Una variedad de tecnologías puedan adaptarse en las plantas de trigeneración para permitir el óptimo manejo de diferentes vectores de energía a fin de asegurar la solución más viable y eficiente, ahorro de energía y reducción de emisiones de CO₂.

Multigeneración.

Desde una perspectiva general, es posible analizar la multigeneración como un combustible input único/múltiple, múltiples vectores de energía output y múltiples sitios. Los casos de sitios múltiples toman en cuenta la entrega local de los vectores de energía mediante infraestructuras adecuadas [24], por ejemplo, un red de DH o DC. Este concepto se refiere a la producción de electricidad, refrigeración y calor (estos dos últimos disponibles en diferentes niveles de entalpías temperatura/presión). Por otra parte, el concepto de multigeneración puede abarcar la prestación de un output adicional, como es el hidrógeno [25,26]. El panorama general de los sistemas de multigeneración tiene un amplio rango de alternativas para combinar y crear un sistema local de energía para la producción múltiple. Una combinación efectiva de las diferentes alternativas en la etapa de planeación y operación, pueden traer mayores beneficios en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones, rentabilidad económica, fiabilidad y calidad del servicio prestado [27, 28, 19].

Dichas soluciones pueden incluir el equipamiento con biomasa así como soluciones de acoplamiento híbrido que incluye sistemas de generación basados en energías renovables. Estas alternativas aparentemente muestran un elevado potencial dentro de las aéreas urbanas donde están disponibles la interconexión de infraestructuras y diversidad de perfiles de demanda.

Biomasa.

La biomasa ya se ha utilizado extensivamente dentro de Europa para la generación de calefacción y/o generación de energía eléctrica. Numerosos estudios respaldan el gran potencial que en Europa tienen los esquemas de pequeña y micro escala:

Durante la última década, en países como Austria, la contribución de la biomasa para sistemas de district heating ha aumentado hasta seis veces, a finales del año de 1997 ya había 369 sistemas de district heating trabajando con Biomasa [30]. En Suecia, la contribución ha aumentado hasta 8 veces, modificando el uso de combustibles fósiles por biomasa (plantaciones forestales) para los sistemas de district heating. Lo cual ha sido el resultado, en gran parte, de la incentivación positiva a nivel local y federal [31].

En Dinamarca utilizan el biogás de estiércol para algunos de los sistemas de district heating [68]. En Francia, la combustión directa de la madera representa casi el 5% del uso de energía primaria [32] y en Finlandia, el 18% del total de producción de energía ha sido la bio-energía, y se prevé que esta cifra se eleve al 23% en el 2050 [33]. Otros autores [34] han presentado una guía para analizar cómo las comunidades municipales pueden evaluar el potencial de los sistemas de distrito con Biomasa, y cómo proceder en un evento de una valoración positiva.

La biomasa es la cuarta mayor fuente de energía a nivel mundial, contribuyendo en casi al 14% a la demanda de energía primaria en el mundo. El ciclo de vida de un sistema sostenible de energía de biomasa tiene casi un efecto neutro en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Por lo tanto, el uso adecuado de la Biomasa ha sido considerado como una de las opciones más atractivas para abordar las preocupaciones de CO₂. El dióxido de azufre producido durante la combustión de los combustibles fósiles, que es uno de los principales precursores de la lluvia ácida, no es un problema mayor para los sistemas de la biomasa debido a su bajo contenido de azufre (<0.1-1% comparado con el 1 a 5% del carbón) [36].

La biomasa es una de las fuentes de energía más adecuada para los sistemas de cogeneración de pequeña y media escala debido a sus propiedades intrínsecas [40]. Los sistemas de pequeña y media escala pueden reducir los costes de transporte y suministrar energía térmica y eléctrica en sitio. El continuo aumento de los precios del gas y de la electricidad, así como el avance en cuanto a I&D de las tecnologías e infraestructura de suministro de la biomasa, permitirán que los sistemas de CHP mediante esta fuente energética sean económicamente competitivos.

El desarrollo de los sistemas de pequeña y media escala de Biomasa-CHP ha sido apoyado y financiado por gobiernos de muchos países industrializados.

Por ejemplo, en el “The National Renewable Energy Laboratory” de los Estados Unidos se fundó un proyecto modular de bio-power, con el objetivo de desarrollar sistemas de biomasa (5 MW) con características como: alta eficiencia, versatilidad de combustibles, operación simple y mínimo impacto en el medioambiente [41]. Uddin y Barreto [42] estudiaron las técnicas de captura de CO₂ en un sistema de Biomasa-CHP para alcanzar emisiones negativas de CO₂, a pesar de los efectos secundarios de reducida eficiencia energética, elevados costos de inversión e incremento de los costos del producto final.

No obstante todos los esfuerzos en investigación, los sistemas de Biomasa-CHP de pequeña y mediana escala siguen sufriendo incertidumbres que requieren avances técnicos considerables. Los sistemas que están actualmente disponibles son muy limitados. Además a largo plazo la viabilidad económica y tecnológica de los pocos sistemas disponibles aun está en fase de demostración. Por lo tanto, se requiere más investigación para superar los actuales obstáculos y para demostrar y comercializar eficiencia energética y bajo coste.

Los sistemas Biomasa-CHP básicamente incluyen una tecnología de conversión primaria que convierte la biomasa en Agua caliente, vapor, productos líquidos o gaseosos y una tecnología secundaria que transforma estos productos en calor y electricidad. Las principales tecnologías de conversión se muestran en la tabla de los sistemas de referencia de la oferta energética actualmente disponible.

El motor de combustión interna y la turbina de gas son las tecnologías más utilizadas, particularmente en sistemas de Biomasa-CHP de media escala [44]. Por el momento, la combinación de tecnologías de combustión y el Ciclo orgánico de Rankine (ORC) están recibiendo más y más atención en el desarrollo de sistemas de Biomasa-CHP de pequeña escala. El costo de un sistema de ORC es 60% menor que el de un motor Stirling, y es similar al de la tecnología de la gasificación y Turbina de vapor/motor [40]. En lugar de agua, ORC utiliza productos químicos orgánicos con propiedades termodinámicas favorables como fluidos de trabajo [45]. El fluido orgánico de trabajo evapora requiriendo una menor cantidad de calor que el agua, por lo tanto, ORC opera a menor temperatura y presión que el proceso convencional de vapor [46, 47]. Por esta razón, ORC es particularmente adecuado para sistemas de Biomasa-CHP pequeña y mediana escala.

Para incrementar la viabilidad económica de los sistemas de pequeña y mediana escala basados en Biomasa-CHP, debe extraerse más electricidad del proceso por unidad de calor producido [47]. Además, de la producción de electricidad elevada, el incremento de la relación de E/Q reduce también el consumo de combustible y la producción de CO₂ por unidad de energía producida. Para maximizar los beneficios medioambientales y comerciales de esta escala, la eficiencia eléctrica del sistema tiene que tener niveles aceptables tanto a carga nominal como a carga parcial. Es necesario considerar que el modo de operación de los sistemas Biomasa-CHP de escala pequeña y media se basa en el uso adecuado de la energía térmica, esto representa un factor fundamental por el que pueden considerarse como la mejor opción en términos de reducción de CO₂ y reducción de costos.

En cuanto a sistemas de gasificación de biomasa, la mayoría permanecen en proceso de desarrollo o demostración temprana. Entre los pocos que en la actualidad se encuentran en operación, sólo un número muy reducido han demostrado ser económicamente viables a pequeña y media escala.

La gasificación de la biomasa es una tecnología de conversión térmica donde un combustible sólido se convierte en un combustible de gas. El producto de gas consiste principalmente de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano, agua,

nitrógeno, pero también contaminantes como pequeñas partículas de carbón, cenizas y alquitranes. El gas puede utilizarse por motores de combustión interna o turbinas de gas para producir calor y energía eléctrica en sistemas de CHP después de una limpieza adecuada. La tecnología avanzada de gasificación para producir gases limpios es esencial para el éxito de muchas aplicaciones.

Un sistema de gasificación basado en CHP puede potencialmente tener una mayor eficiencia energética que el sistema de combustión directa basada en CHP. El gas que se obtiene mediante la gasificación puede utilizarse en un motor diesel, gas o “dual fuel” o una turbina de gas[43]. Sin embargo, como hemos dicho anteriormente, es necesario llevar a cabo investigaciones sobre cómo mejorar y optimizar esta tecnología.

Como una tecnología para fuentes de calor de baja-temperatura, ORC para aplicaciones de hasta un 1 MW_e, puede ser ventajosa en muchos sentidos. Por décadas, los sistemas ORC se han utilizado en plantas geotérmicas [49]. En sistemas de CHP de pequeña y mediana escala, los fluidos de trabajo orgánico son preferibles porque el fluido mecánico permite una elevada eficiencia tanto a carga parcial como a plena carga. Esta es una de las principales razones por las que la generación mediante ORC se adapta en sistemas de Biomasa-CHP de pequeña y mediana escala.

Los sistemas de Biomasa-CHP basados en ORC con escalas en el rango de 400 kW_e a 1.5 MW_e han demostrado su viabilidad [50] y están actualmente disponibles por varios fabricantes con eficiencia eléctrica del 20%. El ciclo termodinámico de un ORC basado en sistema de CHP se muestra en el siguiente esquema.

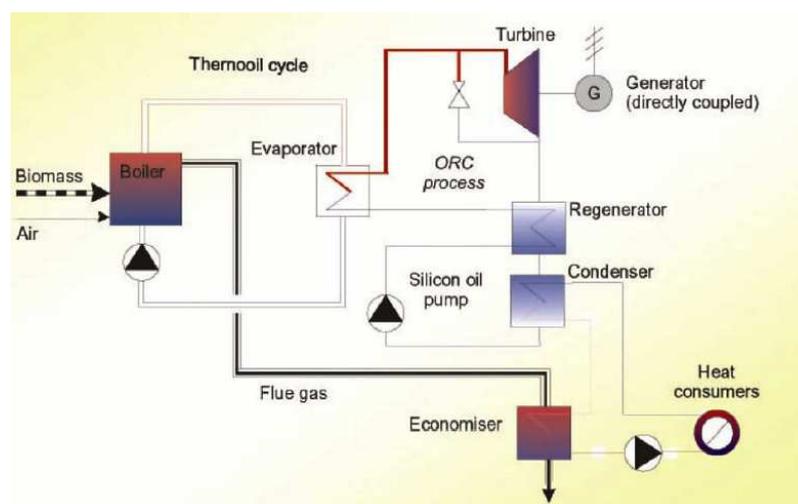


Figura 3.12. Esquema del sistema de Biomasa basado en el proceso ORC [24].

El incremento de la escala aumenta el ahorro de energía primaria de los sistemas de CHP. La futura optimización de las tecnologías ORC para sistemas de Biomasa-CHP de pequeña y mediana escala no se ha parado. Sin embargo, a pesar del hecho de que estos sistemas se encuentran en funcionamiento en toda Europa y en todo el mundo, la disposición de datos técnicos de operación son limitados debido a secretos comerciales.

Cubierta Solar (Solar Térmica/ Fotovoltaica)

La cubierta Solar es un sistema de generación de energía distribuida que recoge la energía solar y la transforma en Electricidad (Fotovoltaica) o Agua Caliente (Solar Térmica) y que opera en las cubiertas de los edificios.

Debido al rol potencial de bajo impacto ambiental y transformación del actual sistema de energía altamente emisor, las células Fotovoltaicas y la opción Solar Térmica de los colectores solares suelen considerarse como tecnologías clave para el suministro de energía sostenible en la edificación.

Por tal motivo, los objetivos de implementación de estas fuentes renovables se promueven a nivel internacional, por ejemplo, mediante “Energy Independence and Security Act of 2007” (EISA) y la Directiva Europea de Eficiencia Energética en los edificios (Directiva 2012/27/UE).

Actualmente existen diversas herramientas de análisis como el sistema de Planeación Solar (SEP) que utiliza GIS (sistema de información geográfica), que tienen como objetivo determinar el potencial de empleo de elementos pasivos y cubierta solar (Calefacción_ASC_Solar y sistemas FV) para reducir el consumo de energía final en los edificios

[51]. No obstante en su mayoría, estas herramientas de análisis se han enfocado únicamente a escala de edificio único.

Tanto el marco regulador como las herramientas de análisis evidencian que en la actualidad la escala habitual de la cubierta solar es la de edificio plurifamiliar, por lo que el auge de los recursos de la energía solar disponibles en las ciudades no ha sido del todo explotado. Para no caer por debajo de las expectativas de reducción del consumo de energía y del impacto ambiental, debe considerarse la ampliación de la escala de la cubierta solar y mejorar el despliegue de este sistema.

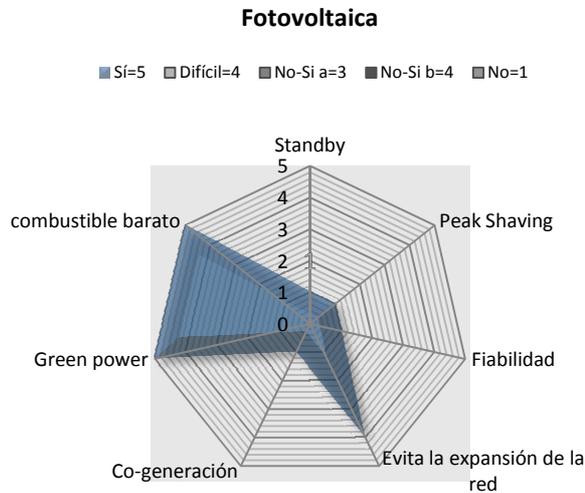
Ampliar el objetivo de la cubierta solar a escala de barrio potencialmente brinda diversas opciones de estrategias de gestión y de soporte con mayor probabilidad de éxito, flexibilidad de diseño, organizativa, financiera y economía de escala. Esto permite oportunidades como:

- mayor capacidad de análisis de la densidad a escala de barrio para identificar el potencial de cumplimiento de las necesidades eléctricas y térmicas, el potencial de ahorro de energía y reducción de emisiones de CO₂
- mayor adaptabilidad para la distribución adecuada de los módulos solares en los diferentes edificios (potencialmente productores netos de energía solar) considerando criterios arquitectónicos para facilitar el acceso solar y eliminar problemas de sombras
- combinación óptima de sistemas de energía para permitir su máxima utilidad (incluyendo la introducción de sistemas de alta eficiencia energética)
- posibilidades de almacenamiento de energía térmica estacional (lo que permite mejorar el aprovechamiento de la superficie instalada).
- el uso de la cubierta solar mediante redes locales de apoyo de intercambio de energía,
- Aporta una mayor fracción solar. La conversión de energía a escala de barrio posibilita un mayor aprovechamiento de los recursos de energía renovable.
- reducción del costo unitario,
- Recuperación de los residuos de energía térmica y reducción de las pérdidas

Electricidad Solar (Células fotovoltaicas FV)

La generación de energía fotovoltaica (FV) consiste en la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas. El rendimiento de este sistema depende en gran medida de la pendiente, el azimut de un colector, de las condiciones climáticas

locales y de la temperatura de operación. Las células fotovoltaicas de silicio monocristalino o policristalino son las más populares, en el 2006 capturaron el 65% del mercado global [69]. La eficiencia de un colector común esta en el rango del 12%-18%. Sin embargo, se han desarrollado células con eficiencias del 24.7% [70]



Standby= es una medida de la capacidad de reserva o capacidad de uso continuo del sistema, es decir, la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima en un periodo determinado. Seguridad en el suministro de energía.

Peak Shaving= Flexibilización de la capacidad de suministro en periodos de demanda pico.

Fiabilidad= Capacidad de proporcionar seguridad contra las interrupciones en el suministro de energía y contrarrestar las caídas de tensión.

Evita la expansión de la red= nivel de control de la expansión de la red eléctrica.

Co-generación= Potencial de generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

Green Power= capacidad de uso de energías renovables.

Combustible barato= Flexibilidad en el uso de combustibles baratos (Ejem: recursos energéticos del entorno local).

Figura 3.12. Tecnología Fotovoltaica y sus potenciales beneficios. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de: [7, 70].

La conversión de energía solar directamente en electricidad ha sido tecnológicamente posible desde la década de los 30's utilizando sistemas Fotovoltaicos. Estos sistemas consisten en varias celdas que se conectan en serie o paralelo. El output de los paneles FV es directamente proporcional a la superficie que ocupan las celdas y "footprint sizes". Por lo tanto, esta tiene que estar en el rango de 0.02 kW/m².

Aunque la expansión a gran escala de las instalaciones fotovoltaicas supone importantes beneficios, en muchos países sigue existiendo un vacío legal, lo que supone una barrera económica importante. No es casualidad que proyectos a escala de barrio se están

desarrollando en países donde han tenido lugar cambios sustanciales en la estructura del mercado de la energía.



TIPO	RESIDENCIAL-ÚRBANO
SUPERFICIE DE PANEL FV	12 000 m ²
POTENCIA INSTALADA	1 350 kW
PRODUCCIÓN ANUAL	1 012 000 kWh
COSTE TOTAL DE SISTEMA	11,2 MILLION EUR

Tabla 3.8. Instalación de Energía Solar FV a gran Escala en Nieuwland (Países Bajos) . El proyecto se subdivide en edificios residenciales y algunas instalaciones públicas. El proyecto de incorporar un 1 MW en el plan de desarrollo urbano existente fue financiado por REMU, Novern , EC con la ayuda del municipio de Amerstooft [71].

Energía Térmica (Colectores Solares)

Los colectores solares convencionales para la producción de ACS y/o calefacción pueden mejorar su rendimiento mediante tecnologías disponibles que permiten optimizar las condiciones de eficiencia global. Especialmente los sistemas de “district heating” pueden jugar un rol importante para ampliar el objetivo de la cubierta solar a escala de barrio, minimizar el uso de energía fósil, incrementar la fracción solar y reducir las emisiones de CO₂. Los sistemas de energía solar asistidos por sistemas de district heating, generalmente consisten en un sistema de calefacción centralizado, una red de distribución, y en caso de ser necesario, subestaciones de transferencia térmica en los edificios conectados. Este esquema debe usar bajas temperaturas de distribución y almacenamiento. Las temperaturas de distribución de 35-50° C son adecuadas solo si se administra para calefacción, lo cual a su vez requiere que los edificios tengan una envolvente térmica de alta eficiencia. Si se suministra de ACS, entonces serán necesarias temperaturas de distribución de 75°C.

En diversos proyectos que se han construido en Europa (ver gráfica que especifica los datos técnicos de los sistemas), los colectores de energía solar térmica, captan la energía solar que se almacena en el subsuelo y se utiliza principalmente para la producción de agua caliente sanitaria y/o calefacción.

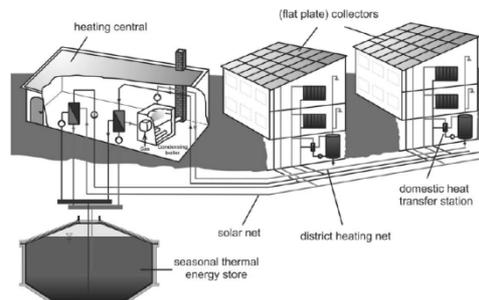


Figura 3.13. Típico Sistema centralizado de energía solar con almacenamiento estacional de energía térmica [72]

Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica Estacional (ASETE)

La ampliación del objetivo de la cubierta solar a escala de barrio posibilita formas efectivas de almacenamiento de energía térmica que evitan penalizar la fracción solar y reducir la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares. Un ejemplo es el Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica Estacional (ASETE), que en algunos casos a resultado indispensable para lograr el acoplamiento (entre la generación y demanda térmica) a lo largo del año.

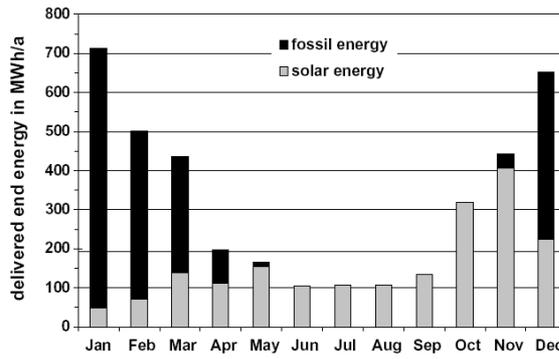


Figura 3.14. Balance de energía anual para un sistema CSHPSS en Friedrichshafen, Alemania [73].

En la actualidad la energía solar térmica puede almacenarse en acuíferos subterráneos, en las rocas del subsuelo usando tuberías en una serie de perforaciones verticales, en tanques aislados de concreto o acero (con revestimientos a prueba de agua) o en gravel -water pits.

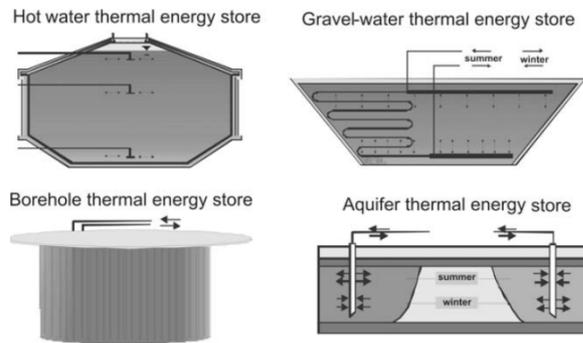


Figure. En el sentido de las agujas del reloj, comenzando por la figura superior Izquierda: Depósito Subterráneo de Agua Caliente (comúnmente utilizado), acumulador de Arena-agua, Sistema geotérmico BHE y acumulador en acuíferos [74].

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	BTES	DEPÓSITO SUBTERRÁNEO DE AGUA CALIENTE	GRAVEL/WATER PIT
CONCEPTO DE ASETE	El Agua Caliente circula a través de las tuberías en el subsuelo, a una profundidad máxima de 150 m	contenedor hermético de agua subterráneo	
CONSTRUCCIÓN	U-shaped coaxial tuberías de plástico con una separación de 1.5-3 m	Hormigón armado, acero- o fibra de vidrio plástico reforzado, o un pozo con una tapa de acero inoxidable	Pozo con revestimiento resistente al agua, lleno de agua y grava sin cubierta de carga
VOLUMEN MÁXIMO/MÍNIMO	>10 000m3 debido a las elevadas pérdidas de calor lateral	Max. 100 000 m3 el almacenamiento más grande diseñado hasta el momento 28, 000 m3	
AISLAMIENTO	sólo en la capa que cubre , 5-10m de la superficie	15-30cm en la parte superior ya los lados, y también por debajo, si la presión puede resistirse	como con el depósito de agua caliente
VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO/ ÁREA DE COLECTOR SOLAR	8-10 m3 /m2	1.5-2.5 m3/m2	2.5-4
COSTO (€/M3) CON 20, 000 M3 DE VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	25	70-80	65-85
OTRAS CARACTERÍSTICAS	de fácil construcción	El contenedor del almacenamiento es caro	Con una proporción de grava de 60-70% por volumen, el volumen total de almacenamiento es aproximadamente del 50% mayor que para un almacenamiento de agua.

Tabla 3.9. Sistemas de Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica Estacional (ASETE), actualmente disponibles [75].

En Alemania en los últimos doce años se han construido once sistemas de energía solar asistidos por district heating y almacenamiento subterráneo de energía térmica estacional, mejor conocidos como CSHPSS, dentro del marco de programas de I&D Solarthermie 2000 y Solarthermie2000 plus. Se han demostrado los cuatro conceptos de almacenamiento subterráneo de energía térmica estacional anteriormente descritos. Estos conceptos de almacenamiento se han elegido en función de las condiciones de contorno específicas en cada caso y características subterráneas locales.

LOCALIZACIÓN	TIPO DE VIVIENDA	SUPERFICIE [m ²]	DEMANDA TÉRMICA ANUAL [MWh]	ÁREA DE CAPTACIÓN DE COLECTORES SOLARES [m ²]	ALMACENAMIENTO VOLUMEN [m ³]	FRACCIÓN SOLAR	COSTO (€/kWh _e)
HAMBURG	124 VIVIENDAS UNIFAMILIARES	14,800	1610	3000	4500 (AGUA CALIENTE)	49%	0.256
FRIEDRICHSHAFEN	570 APARTAMENTOS EN 8 EDIFICIOS	39,500	4106	5600	12,000 (AGUA CALIENTE)	47%	0.158
CHEMNITZ	1 OFICINA, HOTEL, ALMACÉN	4680	573	540	8000 (GRAVA/AGUA)	30%	0.24
STEINFURT	42 APARTAMENTOS EN 22 EDIFICIOS	3800	325	510	1500 (GRAVA/AGUA)	34%	0.42
NECKARSULM	6 BLOQUES DE PISOS, ESCUELA, CENTRO COMERCIAL	20,000	1663	5000	20,000 (DUCT) (63,400, FASE II)	50%	0.17
ATTENKIRCHEN	30 APARTAMENTOS	6200	487	800	500+9350 (AGUA CALIENTE+DUCT)	55%	0.17
ROSTOCK	108 APARTAMENTOS	7000	497	1000	20,000 (ACUÍFERO)	62%	0.25
HANNOVER	106 APARTAMENTOS	7365	694	1350	2750 (AGUA CALIENTE)	39%	0.42

Tabla 3.10. Datos Técnicos de Sistemas de Energía Solar asistidos con “District Heating” y ASETTE construidos en el marco del programa Solarthermie-2000 [73].

La experiencia ganada en la construcción y operación de estas plantas pilotos ha permitido mejorar las técnicas, elevar la eficiencia y reducir los costos.

Los conceptos de almacenamiento subterráneo de energía térmica estacional son técnicamente factibles y han funcionado bien. Sin embargo al día de hoy, los costos de construcción y las pérdidas térmicas siguen siendo elevados. Por estos motivos es necesario mejorar en muchas direcciones, por ejemplo, en la optimización de los trabajos subterráneos (geometría, agua subterránea, ingeniería civil especializada), optimización de la construcción (composite wall, auto portante o cubierta flotante) y optimización de materiales (rendimiento y durabilidad del aislamiento y revestimientos). Sobre todo, la protección del aislamiento. Por otra parte, la integración del sistema es crucial. La capacidad del almacenamiento es limitada por la temperatura del sistema. La estratificación térmica y las pérdidas térmicas influyen en la temperatura de retorno neto.

Entre los principales objetivos para futuros proyectos esta el incremento de la eficiencia del sistema, la reducción de la inversión y de los altos costos del calor solar. Estos objetivos se

pretenden lograr mediante la optimización de la integración del sistema, la conexión de múltiples fuentes de energía térmica (por ejemplo, solar y biomasa) y el almacenamiento combinado de calor y frío.

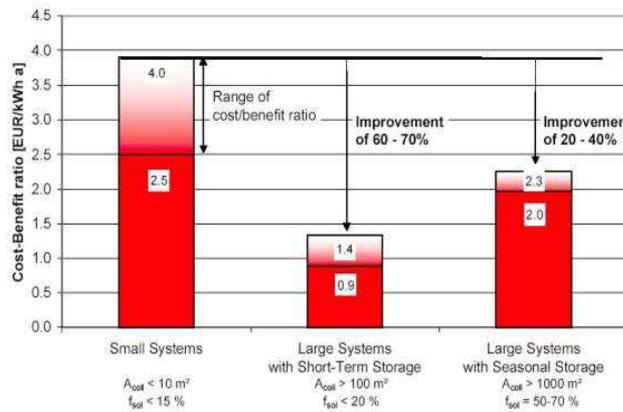
SISTEMA TIPO	SISTEMA SOLAR DE PEQUEÑA ESCALA	SISTEMA CENTRALIZADO DE CALEFACCIÓN SOLAR	SISTEMA CENTRALIZADO DE CALEFACCIÓN SOLAR CON ALMACENAMIENTO ESTACIONAL
DIMENSIÓN MÍNIMA DE CADA SISTEMA	-	Más de 40 apartamentos o más de 100 personas	Más de 100 apartamentos (70 m ² cada uno)
ÁREA DE COLECTOR SOLAR	1-1.5 m ² /persona	0.8-1.2 m ² por persona	1.5-2.5m ² por MWh anual de la demanda térmica
VOLUMEN DEL ALMACENAMIENTO (POR m ² DEL ÁREA DEL COLECTOR)	50-80 litros/m ²	50-60 litros /m ²	1.5-2.5 m ³ /m ²
ENERGÍA SOLAR NETA	350-380 kWh/m ² año	400-430 kWh/m ² año	280-320 kWh/m ² año
FRACCIÓN SOLAR: ACS/ DEMANDA TÉRMICA TOTAL	50%/10%	50%/20%	40-50%
COSTE DE INVERSIÓN POR m ² DE LA SUPERFICIE CALENTADA	20-25 €	30-50 €	90-150 €
COSTO DE CALOR SOLAR (EN ALEMANIA.)	0.2-0.4 €/kWh	0.08-0.15 €/kWh	0.17-0.25 €/kWh

Tabla 3.II. Guía de diseño de sistemas solares asistidos por district heating en el norte y centro de Europa [76].

En relación con el precio de los sistemas, el costo se ha reducido en gran parte debido al número de fabricantes potenciales, que pueden ofrecer colectores para aplicaciones a gran escala. Aunque no completamente competitivos en el mercado, los sistemas CSHPSS han llegado a ser una tecnología más o menos establecida en varios países de Europa. La relación entre los costes de inversión y el calor suministrado por estos sistemas esta alrededor de 1 € por 1 kWh por año. En el futuro podría alcanzarse una reducción de hasta el 50% debido a la producción industrial de colectores solares. En Suecia y Alemania se está diseñando un nuevo módulo de colector solar para cubiertas, con el que se pretende facilitar la integración en el proceso de construcción y reducir los costos de instalación a gran escala.

La relación coste-beneficio para los sistemas con almacenamiento a corto plazo en comparación con los sistemas a escala micro está en el rango de un 60-70%. Los sistemas con almacenamiento estacional (donde aproximadamente la mitad de la demanda de calefacción y

ACS es cubierta por energía solar), la relación coste-beneficio es de un 20-40% mejor que para los sistemas pequeños de ACS.



La ampliación de los objetivos de la cubierta solar a escala de barrio posibilita la combinación óptima de los sistemas, no solo como hemos descrito, de los fotovoltaicos, de captación solar, y de sistemas de apoyo basados en district heating-ASETE, sino que también incrementar la eficiencia energética y el ahorro de energía primaria mediante la introducción de CHP. Al día de hoy, esta integración permite recuperar los residuos de energía térmica, proporcionarle un uso adecuado, así como una mejor integración de la energía solar térmica y fotovoltaica.

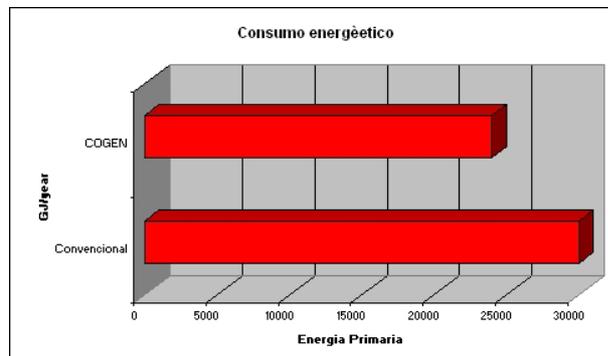


Figura 3.15. Aún cuando en principio un equipo de cogeneración aumenta el consumo de gas, la eficiencia global de este sistema incrementa cuando compara con el rendimiento de una caldera de gas, y la electricidad a través de red. Esto último se justifica mediante la producción eléctrica para el autoconsumo o la venta a la red eléctrica

La vinculación de un sistema de Cubierta solar y generación combinada de energía eléctrica y térmica (CHP), en la actualidad permite diversas posibilidades. Por un lado, está la alternativa en el que el dimensionamiento de la cubierta solar es inferior para poder ofrecer un mayor número de horas de funcionamiento al sistema CHP. También se tiene la posibilidad de utilizar CHP sin penalizar la fracción solar, es decir, CSHPSS en cuyo caso se incluye el almacenamiento de energía estacional.

Ejemplos:

CUBIERTA SOLAR-DISTRICT HEATING. SIST. AUXILIAR: POR EDIFICIO; SIST. ASETE. INSTALACIÓN FV (SAE)

Interconexión a través de una red de calor:
 o Mayor flexibilidad para distribuir los Colectores Solares en los diferentes edificios, posibilidades para eliminar conflictos y problemas de sombra considerando criterios arquitectónicos.

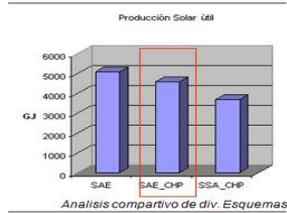
o Mayor fracción solar. Teniendo en cuenta la relación producción solar /m2, el ASETE permite mejorar el aprovechamiento de la misma superficie instalada. Reducción del costo unitario debido a campos de colectores a gran escala.



CUBIERTA SOLAR-DISTRICT HEATING-CHP-ACUMULACIÓN ESTACIONAL (CSHPSS) / BARRIO (SAE_CHP)



Este esquema combina la aplicación del sistema de cogeneración con una alta fracción sola, así como un sistema de almacenamiento de energía térmica estacional (ASETE).

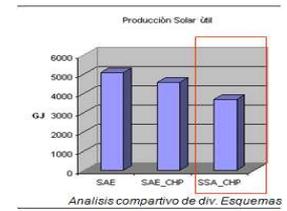


Análisis comparativo de div. Esquemas.

CUBIERTA SOLAR: BARRIO. DISTRICT HEATING-CHP (SSA_CHP)



La viabilidad económica de un sistema de cogeneración centralizado es mayor que /edificio único. Los costos de inversión se reducen en relación a la inversión de calderas individuales por vivienda. En este caso el dimensionamiento del sistema solar previsto es inferior que en el caso SAE para poder ofrecer un mayor número de horas de funcionamiento de cogeneración



Análisis comparativo de div. Esquemas

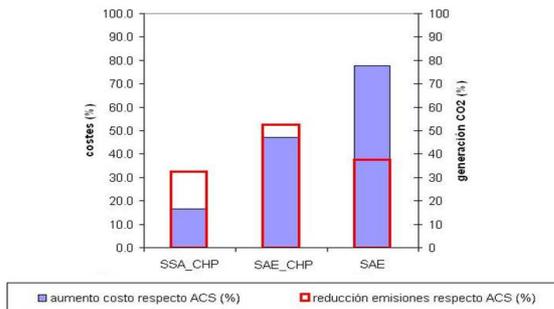


Tabla 3.12. La opción de un sistema centralizado con cogeneración (Cubierta Solar-District Heating-CHP-Acumulación Estacional (CSHPSS) / barrio), podría ser una de las opciones que presentan una perspectiva más favorable desde el punto de vista medioambiental como Económico. 1) Cubierta Solar-District Heating-CHP/ barrio. (SSA_CHP); 2)Cubierta Solar-District Heating-CHP-Almacenamiento de Energía Térmica Estacional (CSHPSS) / barrio (SAE_CHP); 3)Cubierta Solar- District Heating Sistema auxiliar: por edificio Almacenamiento Estacional (SAE). Gráfica de elaboración propia con la recopilación de datos de diversos casos de estudio dentro de la UE.

La cubierta solar a escala de barrio depende de la combinación óptima de una variedad de sistemas en áreas urbanas para poder incrementar la eficiencia global y contrarrestar la condiciones intermitentes de los sistemas fotovoltaicos y de los colectores de energía solar térmica, en este sentido nos hemos referido a los sistemas district heating, CHP. Estas alternativas permiten de manera simultánea recuperar tanto los residuos de energía térmica, proporcionarles un uso adecuado, así como una mejor integración de los recursos renovables. Frente a este esquema, la estructura de los flujos de energía a escala de barrio deberá adaptarse a múltiples procesos de la energía de una manera que permita la eficiencia global.

Las medidas clave para el despliegue de la cubierta solar a escala de barrio incluye el de preservar el acceso solar, el estado de madurez de la tecnología, y nivel de desarrollo (inversiones en I & D), incentivos para confiar en la red de energía de reserva, desarrollo de políticas que apoyen el uso de sistemas de energía solar a gran escala mediante redes locales, nuevos acuerdos institucionales, la optimización del acoplamiento de los sistemas complementarios, mejorar la seguridad energética .

Explorar el auge potencial de la energía solar disponible en las ciudades depende del conocimiento y compromiso de las partes implicadas, de la coordinación y colaboración de la diversidad de usuarios. En este sentido se vuelve fundamental marcos organizativos y normativos que eviten vacíos legales y que desconcierten a los usuarios.

Sistema Centralizado de Energía Solar Térmica

Como alternativa al montaje de colectores solares en las cubiertas de los edificios, existe la posibilidad de la instalación en forma de campo solar centralizado. Por ejemplo, en forma que cubran áreas de parking, espacios públicos, o como en estos casos, en terrenos de “baja productividad”.

Estos sistemas consisten en:

- Un sistema solar de producción con campo de captadores centralizado por barrio
- Un sistema de producción auxiliar centralizado/barrio que consisten en un equipo de cogeneración y una caldera trabajando en paralelo para cubrir la demanda de calefacción y ACS restante.
- Un red de distribución de calor/ barrio hasta cada uno de los edificios



Figura 3.16. Izquierda: Mastral . Dinamarca. Instalación de un Sistema solar a gran escala en conexión con una planta existente de “district heating”. 8.064 m² de colectores solares. Cubre aprox. el 13% de la demanda anual de calor de la ciudad. Deposito de almacenamiento de agua: 2.100m³ . Derecha: Kungalv (Suecia). Sistema “District Heating “conectado a un campo centralizado de colectores solares en un área total de 10.000 m² y una caldera de biomasa. El sistema provee el 50% De la demanda de calefacción y ACS de: 200 viviendas unifamiliares, 200 edificios (escuelas, Industrias y bloques de apartamentos)

Energía geotérmica para sistemas de distrito

Donde la energía geotérmica está disponible, se requiere una red de district heating para distribuir el calor a los edificios. Más del 97% de las habitantes de Reykjavik y el 90% de la población de Islandia reciben calor geotérmico de distrito. Algunos municipios de la región de París se basan principalmente en energía geotérmica como fuente de energía térmica en los edificios mediante redes locales de district heating. En el año 2000, Turquía conectó cerca de 52, 000 residencias a la red geotérmica de energía de distrito, con planes para conectar cerca de 500, 000 residencias (el 30% del total del país) en un futuro próximo [77]. Otros países usan el desarrollo geotérmico de district heating, incluyendo EE.UU (con 18 sistemas), Hungría, Rumania, Polonia, China, Dinamarca y Suecia [78]. En este último caso las bombas de calor se usan para impulsar el agua geotérmica 23°C a 80°C.

3.3.1.2 Sistemas para vivienda unifamiliar o edificio plurifamiliar

La Capacidad máxima de la escala micro es de: [50kW_e] La conforman esquemas de RES (Fotovoltaica, solar térmica, etc,) que operan en función de las condiciones climatológicas y unidades de generación distribuida basadas en Micro Cogeneración (μCHP), que funcionan de acuerdo a las fluctuaciones del patrón de demanda térmica.

Micro-Cogeneración (μCHP)

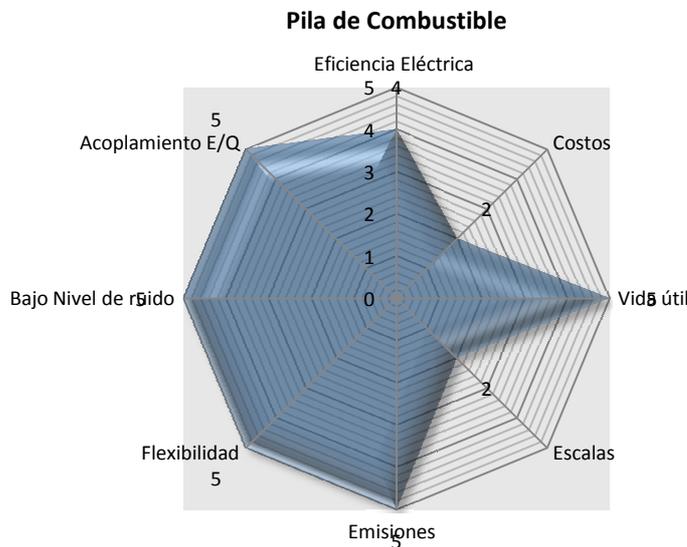
La generación distribuida de sistemas de micro cogeneración ha tenido un creciente interés en la liberalización del mercado energético. En términos generales, el concepto de micro cogeneración (μCHP), se refiere a la generación combinada de energía eléctrica y térmica con una potencia eléctrica <15 kW_e. Uno de los objetivos de la aplicación de μCHP es el edificio de

viviendas plurifamiliar. Los sistemas más importantes que compiten en este sentido son, la pila de combustible, el motor Stirling y el motor alternativo.

La ventaja de estas tecnologías es su habilidad para utilizar combustibles como la biomasa. Sin embargo, los obstáculos económicos, técnicos así como relación E/Q, representan factores determinantes cuando se define su limitada viabilidad en la actualidad.

A continuación se hace una revisión general de cada una de estas alternativas de μ CHP y un análisis de las características técnicas.

Micro-Cogeneración (μ CHP) _Pilas de combustible



Eficiencia eléctrica= Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%. $REE = \frac{W_{net}}{F - \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{F - \left(\frac{Q_u}{\eta_q}\right)}$ Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. Bajo nivel de ruidos: nivel de ruido producido por el sistema. Vida útil: Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. Emisiones: potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. Bajo nivel de ruido: Relacionado con la condición estática del sistema. Flexibilidad: capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. Acoplamiento E/Q: capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. Vida útil: Periodo de operación del sistema

Figura 3.17. Evaluación de la pila de combustible mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de 1 (mal) a 5 (bien). Gráfica de elaboración propia sustentada en la recopilación de datos de: [12, 55, 56]

Una pila de combustible produce electricidad por vía electroquímica, mediante la combinación de hidrogeno y oxígeno. En su forma más simple, la pila de combustible consiste en un ánodo, un cátodo y un electrolito. El combustible, hidrogeno, libera electrones en el ánodo, que luego se conducen al cátodo vía una circuito externo. Los iones de hidrogeno (protones) se difunden directamente mediante un material electrolito hacia el cátodo y a continuación se convierten en agua por la reducción de oxígeno en el aire. La rapidez de la reacción depende tanto del electrolito y el material catalizador utilizado en las superficies del ánodo y el cátodo. La reacción puede también ser más intensa mediante el proceso de calentamiento (por ejemplo combustión externa) y el aumento de la temperatura en la operación. Las pilas de combustible generalmente se clasifican en diferentes tipos de acuerdo a él electrolito, la temperatura de operación y la fuente de hidrogeno.

Hay muchos factores que hacen de las pilas de combustible una opción interesante. Los que con mayor frecuencia se mencionan es la alta eficiencia eléctrica, su característica inmunidad a los cambios de carga y el bajo rango de emisión si se utiliza el hidrogeno como fuente de energía. Las emisiones de CO₂ y la formación de óxidos de sulfuro y nitrógeno dependen del tipo de combustible. Algunos otros aspectos positivos son la ausencia de ruido, la confiabilidad, modularidad y rápida adaptabilidad a los cambios de carga. Entre los inconvenientes más destacados esta el costo de inversión. En la actualidad, los costos de los sistemas basados en las pilas de combustible pueden ser hasta tres veces más elevados en comparación con los motores alternativos. Otro problema de las pilas de combustible es que son más exigentes en términos de almacenamiento y transporte que otras tecnologías. Las ventajas y desventajas también dependen del el tipo de pila de combustible.

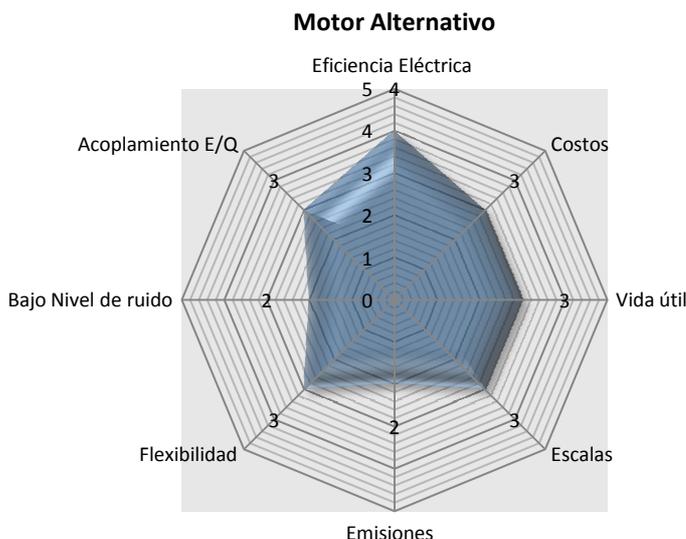
En rango de aplicación de estos sistemas es muy amplio principalmente debido a las posibilidades en cuanto a la escala, por supuesto, la idoneidad depende del tipo de pila de combustible. Por ejemplo, el nivel de temperatura operativa es un ejemplo de un factor limitante.

Eficiencia: Las pilas de combustible generalmente alcanzan eficiencias en un rango del 44-55%. El rendimiento de las pilas de combustible es una función del tipo de sistema y su capacidad. La optimización de la eficiencia eléctrica y de las características de eficiencia global de las pilas de combustible constituye un reto de ingeniería debido a que son una combinación de subsistemas químicos, electroquímicos y electrónicos [58]. Puesto que los diversos componentes del subsistema de una pila de combustible se establecen en serie, la eficiencia eléctrica del sistema es un múltiplo de las eficiencias de las secciones individuales.

	CAPACIDAD (DEFAULT)		EFICIENCIA (DEFAULT)		EFICIENCIA (MIN)		EFICIENCIA (MAX)		EMISIONES NOX	
	ELECTRICA (kW _e)	TÉRMICA (kW)	ELECTRICA (%)	Total (%)	Electrica (%)	Total (%)	Electrica (%)	Total (%)	Default (mg/Nm3)	Bandwidth (mg/Nm3)
PEM										
FC	4.7	12.5	32	85	28	80	32	90	3	-
SOFC	1	2.7	32	85A	28	80A	32	90A	3	-
1 kW	1	3.25	20	85	20	80	20	85	N.A	N.A.

Tabla 3.13. Datos Input de las Pilas de combustible de escala micro [15].

Micro-Cogeneración (μCHP): Motor Alternativo



Eficiencia eléctrica= Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%.

$$REE = \frac{W_{net}}{F - \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{1 - (\frac{Q_u}{\eta_q F})}$$
 Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. Bajo nivel de ruidos: nivel de ruido producido por el sistema. Vida útil: Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. Emisiones: potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. Bajo nivel de ruido: Relacionado con la condición estática del sistema. Flexibilidad: capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. Acoplamiento E/Q: capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. Vida útil: Periodo de operación del sistema

Figura 3.18. Evaluación del motor alternativo mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de 1 (mal) a 5 (bien). Gráfica de elaboración propia sustentada en la recopilación de datos a partir de:[12, 15, 40, 44, 53].

Un sistema de micro cogeneración basado en un motor alternativo consiste simplemente en un motor (diesel, gas o combustible múltiple), y en un generador vinculado al motor. Generalmente estos sistemas se caracterizan por una alta eficiencia eléctrica y versatilidad en relación al uso de combustibles. Usualmente este motor usa gas natural, pero el

uso de la biomasa y biogás están siendo focos de investigación (temas que se describirán en el siguiente apartado). La modularidad que caracteriza estos sistemas, los hace flexibles y atractivos para su aplicación en diferentes usos.

	CAPACIDAD (DEFAULT)		EFICIENCIA (DEFAULT)		EFICIENCIA (MIN)		EFICIENCIA (MAX)		EMISIONES NOX	
	Electrica (kWe)	Térmica(kW)	Electrica (%)	Total (%)	Electrica (%)	Total (%)	Electrica (%)	Total (%)	Default (mg/Nm3)	Bandwidth (mg/Nm3)
3-6 kW lean (high Nox)	5.5	13.9	25	88	25	84	25	95	300	70-400
3-6 kW lean (high NOx cond)	5.5	14.9	25	93	25	88	25	99	300	70-400
3-6 kW lean (low NOx)	5	12.6	25	88	25	84	25	95	135	60-200
3-6 kW (l = 1)	4.7	12.5	25	88	25	84	25	95	125	50-400
3-6 kW lean (fuel oil)	5.3	11.4	28	88					2150	N.A

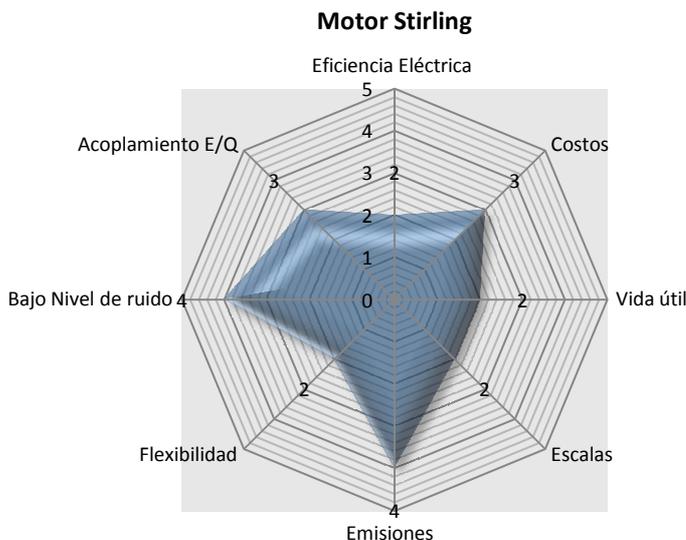
Tabla 3.14. Datos Input de el Motor Alternativo escala µcro. [15]

Dadas sus partes móviles, estos motores son ruidosos y necesitan mantenimiento con mayor regularidad. Las emisiones de CO₂ y O₂ dependen en gran parte del combustible utilizado. Las cantidades de NO_x, CO también dependen de otras condiciones de combustión, como la temperatura y la cantidad de aire. Estos sistemas son más adecuados para perfiles E/Q constantes. Es necesario recalcar que a mayor escala, los beneficios son mayores.

Eficiencia: Los motores alternativos de combustión interna alcanzan eficiencias en un rango de 25 al 45%. En general, el motor diesel es más eficiente que el motor spark ignition debido a los rangos más elevados de compresión. Estos motores son generalmente clasificados en condiciones ISO de 25°C y 1 bar de presión [59].

Los resultados de una encuesta a diversos fabricantes muestran que la eficiencia global de estos sistemas basados en CHP está en el rango de 85-90% con una variación debido a la escala [60]. La eficiencia eléctrica esta en el rango de 28-39%, y este incrementa como el tamaño del motor.

Micro Cogeneración (μCHP): Motor Stirling



Eficiencia eléctrica- Es la relación entre la electricidad generada y la cantidad de combustible necesario para generarla en un motor ideal de rendimiento 100%.

$$REE = \frac{W_{net}}{F - \frac{Q_u}{\eta_q}} = \frac{W_{net}}{1 - (\frac{Q_u}{\eta_q F})}$$

Siendo: $\frac{Q_u}{\eta_q}$: Combustible para generar Q_u de calor, η_q Se estima de valor aproximado a 0,9.

Costos: orden de magnitud de los costes de instalado, operación y mantenimiento del sistema. **Bajo nivel de ruidos:** nivel de ruido producido por el sistema. **Vida útil:** Escalas: definida por los rangos de la potencia eléctrica que típicamente desarrolla el sistema. **Emisiones:** potencial de reducción emisiones por energía eléctrica producida. **Bajo nivel de ruido:** Relacionado con la condición estática del sistema. **Flexibilidad:** capacidad de posibilitar su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño. **Acoplamiento E/Q:** capacidad de modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada en respuesta a los cambios de demanda. **Vida útil:** Periodo de operación del sistema

Figura 3.19. Evaluación del Motor Stirling mediante un diagrama de estrella y transcrita en escala de 1 (mal) a 5 (bien). Gráfica de elaboración propia sustentada en la recopilación de datos a partir de: [12, 15, 40, 44, 53].

El motor Stirling se caracteriza por sus bajas emisiones (especialmente NO_x) y menor producción de ruido con Figura 3.18. parados con los motores alternativos convencionales. La combustión externa también provoca una menor necesidad de mantenimiento a pesar del hecho de que el ciclo de mantenimiento es el mismo que para otros motores alternativos. Debido a su combustión externa, diversos combustibles son adecuados, aunque la opción más interesante es la Biomasa. Una desventaja fundamental es la baja eficiencia eléctrica, aproximadamente en el rango del 25-30% cuando el gas natural se utiliza como combustible. Cuando se utilizan combustibles sólidos, la eficiencia puede ser menor, aprox. de un 15%. La eficiencia global, sin embargo, no es significativamente menor que otras aplicaciones de μCHP.

Debido a su relación E/Q, los motores Stirling pueden ser aptos para edificios de viviendas. Sin embargo, su baja eficiencia establece un uso más adecuado como suministro de energía de reserva en lugar de su uso continuo [61, 62].

Eficiencia y rendimiento a carga parcial: El ciclo Stirling tiene el potencial de alcanzar una mayor eficiencia que los de ciclo Rankine o Joule, porque es más cercano al enfoque del ciclo de Carnot. En la actualidad la eficiencia global de un motor Stirling-CHP es del 65-85%. Este sistema también tiene una buena capacidad para operar bajo condiciones de carga parcial. Se espera que mientras la eficiencia a plena carga puede alcanzar entre el 35 y 50%, la eficiencia al 50% de la carga puede estar en el rango del 34-39% [63].

Debido a que esta tecnología aún permanece en fase de desarrollo, no hay un dato estadístico para la fiabilidad y la disponibilidad de motores Stirling. Sin embargo, se espera que la confiabilidad del motor sea comparable a la del motor diesel, con un promedio de disponibilidad en el rango de 85-90% [63].

	CAPACIDAD (DEFAULT)		EFICIENCIA (DEFAULT)		EFICIENCIA (MIN)		EFICIENCIA (MAX)		EMISIONES NOX	
	ELECTRICA (kW _e)	TÉRMICA (kW)	ELECTRICA (%)	TOTAL (%)	ELECTRICA (%)	TOTAL (%)	ELECTRICA (%)	TOTAL (%)	DEFAULT (mg/Nm3)	BANDWIDTH (mg/Nm3)
0.8 kW	0.8	6	10	85	10	80	12	90	80	-
3 kW	3	15	15.9	90	15	85	19	94	80	20-110
9.5 kW	9.5	28.5	24	96	22	88	26	100	80	20-110

Tabla 3.15. Datos Input de del Motor Stirling a escala µico [15].

Biomasa- μ CHP.

La biomasa es la fuente de energía más adecuada para los sistemas de μ CHP debido a sus propiedades intrínsecas [40]. El desarrollo de los sistemas de Biomasa- μ CHP ha sido apoyado y financiado por los gobiernos de muchos países industrializados. The National Renewable Energy Laboratory de los Estados Unidos ha incluido en su proyecto modular, la investigación y el desarrollo de sistemas de biomasa desde 5kW_e [48].

Las Tecnologías de conversión de energía de sistemas Biomasa- μ CHP incluyen básicamente una tecnología de conversión primaria que convierte la biomasa en Agua caliente, vapor, productos líquidos o gaseosos y una tecnología secundaria que transforma estos productos en calor y electricidad.

Por el momento, la combinación de tecnologías de combustión y el Ciclo orgánico de Rankine (ORC) están recibiendo más y más atención. En lugar de agua, ORC utiliza productos químicos orgánicos con propiedades termodinámicas favorables como fluidos de trabajo [44]. El fluido orgánico de trabajo se evapora requiriendo una menor cantidad de calor que el agua, por lo tanto, ORC opera a menor temperatura y presión que el proceso convencional de vapor [46, 47]. Por esta razón, ORC es particularmente adecuado para sistemas de Biomasa- μ CHP.

Para un motor tradicional de Biomasa- μ CHP, la típica eficiencia eléctrica es de 6-8% con una dimensión < 15 kW_e [38].

Para incrementar la viabilidad económica de los sistemas de μ CHP, debe extraerse más electricidad del proceso por unidad de calor producido [47]. Además, de la elevada producción de electricidad, el incremento de la relación de E/Q reduce también el consumo de combustible y la producción de CO₂ por unidad de energía producida. Los factores que limitan la relación E/Q en los sistemas de Biomasa- μ CHP están en su mayoría relacionados con las características de los materiales y lo referente a cuestiones económicas. Muchas otras características de los procesos que comúnmente se utilizan en los sistemas de pequeña y mediana escala se consideran a menudo demasiado caras para rangos micro. Es fundamental considerar que el modo de operación de los sistemas Biomasa- μ CHP se basan en la demanda térmica, por este motivo no es la mejor opción en términos de reducción de CO₂ y ahorro de costos de la escala micro [64].

Los sistemas de micro-CHP en el rango de 1-15 kWe pueden operar con biogás y biomasa [65]. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos en el desarrollo de μ CHP para incrementar la eficiencia de esta tecnología, esta permanece en fase de investigación.

La aplicación de sistemas de Biomasa- μ CHP a partir de 1 kWe basado en ORC suele ser ventajosa en muchos aspectos. En estos sistemas los fluidos de trabajo orgánico son preferibles porque el fluido mecánico permite una elevada eficiencia tanto a carga parcial como a plena carga. Esta es una de las principales razones por la que los sistemas de ORC, como tecnología de generación avanzada para fuentes de calor de baja temperatura, se adaptan a sistemas de Biomasa- μ CHP.

En los últimos años, el limitado interés en la investigación de sistemas de Biomasa- μ CHP, ha impedido el desarrollo de esta tecnología. Dando como una consecuencia que la implementación de sistemas ORC a escala micro se enfrenten a muchos obstáculos técnicos y económicos comparados con la tecnología madura de pequeña y mediana escala. El obstáculo más importante se la eficiencia eléctrica limitada [40, 66].

Cubierta Solar (Solar Térmica/ Fotovoltaica)

Este es un sistema de generación de energía distribuida que recoge la energía solar y la transforma en electricidad (paneles fotovoltaicos) o energía térmica (colectores solares) y que opera en las cubiertas de edificios únicos.

Por lo tanto, la escala es el edificio único, el ámbito de aplicación, son dos tipos de energía (electricidad y energía térmica) y el actor clave es el dueño o arrendatario del edificio.

A este nivel es poco probable que el propietario o arrendatario de los edificios inviertan en una cubierta solar si existen riesgos significativos. Por tal motivo, numerosos municipios han promulgado ordenanzas para evitar conflictos, fomentar y proteger el acceso solar.

En la actualidad, el marco regulador y las herramientas de análisis, han definido que el edificio único es la escala de la cubierta solar, por tal motivo, cuenta con un mayor soporte que otras alternativas de acoplamiento.

Entre las medidas clave en el diseño de la cubierta solar incluye la de preservar el acceso solar, el estado de madurez de la tecnología, los incentivos para confiar en la conexión con la red eléctrica, la minimización de los conflictos entre los diversos propietarios y mejorar la seguridad energética

Cuando los contadores eléctricos proporcionan suficiente información, los propietarios pueden obtener beneficios mediante la sustitución de energía solar por electricidad más cara.

Energía Térmica (Colectores Solares)

Las diversas configuraciones de los sistemas de energía que han sido diseñados para el aprovechamiento de la energía solar térmica se distinguen por la escala, localización de los campos de colectores solares y su interconexión.

A escala de micro nivel podemos encontrar las siguientes alternativas:

- **Sistema solar: edificio único- Sistema auxiliar: individual**

Sistema solar independiente por edificio único sin ninguna interconexión, y con una Fracción Solar que alcanza el 60% de la demanda anual de ACS. Este esquema se utiliza para contrastar el sistema propuesto con un sistema auxiliar centralizado. El sistema

cuenta con calderas mixtas individuales en cada vivienda para cubrir la demanda de ACS restante

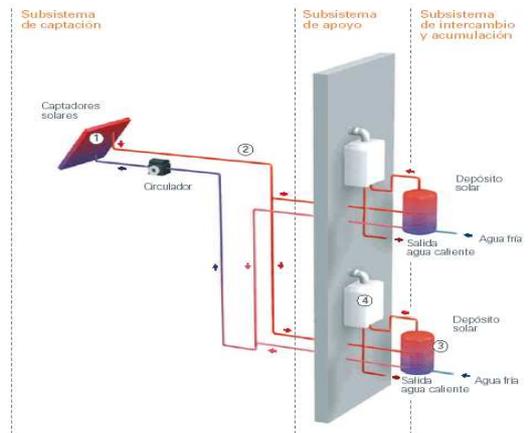


Figura 3.20. Esquema. Configuración con acumulación solar individual [79].

- Sistema solar: edificio único- Sistema auxiliar: caldera centralizada por edificio único.**
 Este sistema es independiente para cada edificio y los criterios aplicados son los siguientes:
 Sistema de ACS: Este sistema se ha diseñado como un sistema mínimo obligatorio para el cumplimiento de la ordenanza solar de Barcelona, cubriendo un 60% de la demanda únicamente de ACS.
 Sistema de ACS-Calefacción: Se ha diseñado con el objetivo de cubrir aproximadamente un 60% de la demanda de ACS y calefacción del edificio tipo. El sistema auxiliar, en este caso una caldera central, trabaja en paralelo para cubrir la demanda de calefacción y de ACS restante. Opcionalmente en paralelo con la caldera se puede instalar un equipo de micro-cogeneración.

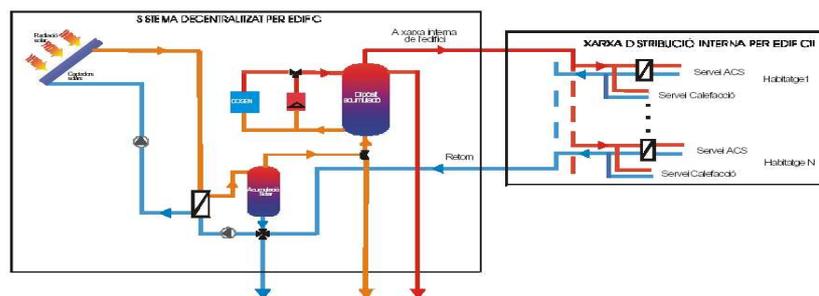


Figura 3.21. Esquema Configuración con acumulación solar centralizada [79].

Estos alternativas a escala micro evidencian que el límite práctico y económico para Sistemas sin acumulación estacional es una cobertura solar del 60%. Es importante tener en cuenta que a medida que aumenta la fracción solar anual, la temperatura media de funcionamiento del captador aumenta y, por tanto, su rendimiento disminuye.

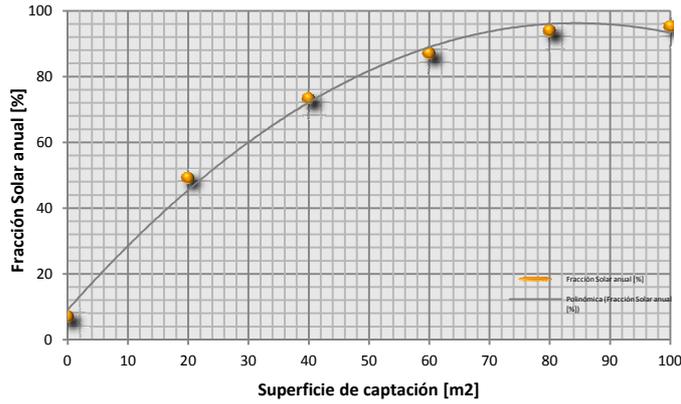


Figura 3.22. Variación de la fracción solar con la superficie de captación [79].

La fracción solar anual no aumenta linealmente con la superficie de captación. La productividad energética de los captadores solares expresada en kWh/(m²/año), disminuye a medida que aumenta la fracción solar.

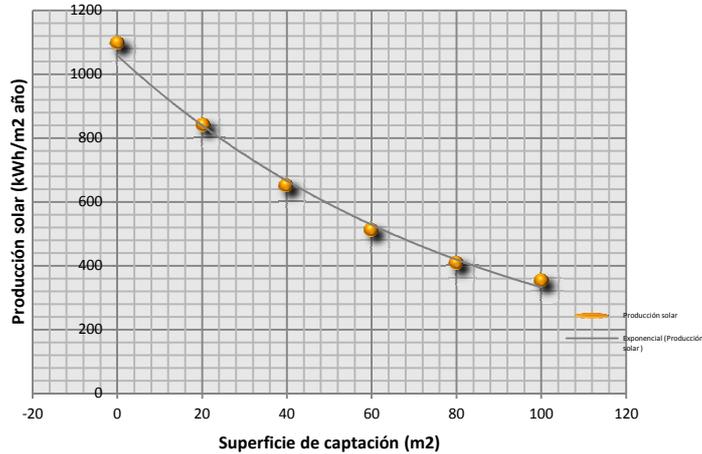
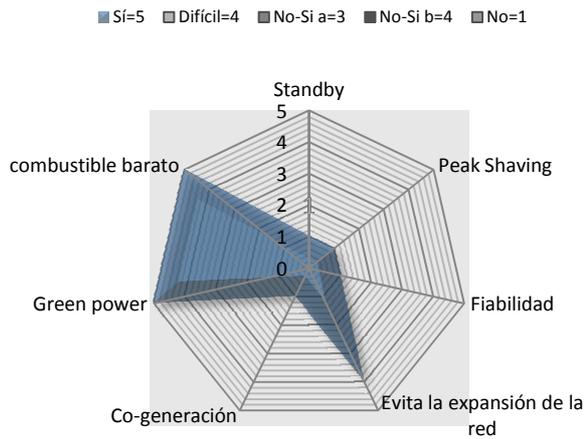


Figura 3.23. Variación de la productividad de los captadores solares (en kWh/m² año) con el tamaño del sistema [79].

Electricidad (Células fotovoltaicas FV)

El rendimiento de un sistema FV depende en gran medida de la pendiente y el azimut de un colector, de las condiciones climáticas locales y de la temperatura de operación de las células. La eficiencia de un colector común está en el rango del 12%-18%. Sin embargo, se han desarrollado células con eficiencias del 24.7% [70].

Fotovoltaica



Standby= es una medida de la capacidad de reserva o capacidad de uso continuo del sistema, es decir, la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima en un periodo determinado. Seguridad en el suministro de energía.

Peak Shaving= Flexibilización de la capacidad de suministro en periodos de demanda pico.

Fiabilidad= Capacidad de proporcionar seguridad contra las interrupciones en el suministro de energía y contrarrestar las caídas de tensión.

Evita la expansión de la red= nivel de control de la expansión de la red eléctrica.

Co-generación= Potencial de generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

Green Power= capacidad de uso de energías renovables.

Combustible barato= Flexibilidad en el uso de combustibles baratos (Ejem: recursos energéticos del entorno local).

Figura 3.23. Tecnología Fotovoltaica y sus potenciales beneficios. Gráfica de elaboración propia sustentada en la recopilación de datos a partir de: [7, 69, 70, 71].

Las instalaciones fotovoltaicas pueden estar en conexión o no con la red eléctrica. La posibilidad de vender a las compañías eléctricas la energía producida a un precio más elevado que el de compra estipulado y el ahorro que representa evitar el uso de baterías, constituyen ventajas que en muchas ocasiones hacen preferible la conexión a la red. Aún cuando esta opción supone mayores beneficios, en la actualidad la poca consistencia en los procedimientos y requisitos técnicos siguen dificultando la instalación con la red.

Ejemplos:

CUBIERTA SOLAR: EDIFICIO ÚNICO. SISTEMA AUXILIAR: INDIVIDUAL. INSTALACIÓN FV



El número de viviendas condiciona la alternativa de instalación de FV a escala micro. Si se consideran viviendas eficientes, la instalación podría cubrir el 50% de la demanda de electricidad. La integración de los sistemas en un único edificio y sin ninguna interconexión, puede reducir las posibilidades de aportar mayores cantidades de energía solar al sistema

Como fuente auxiliar para la producción de calor útil restante, las opciones en este caso más factibles sería una caldera individual. En consecuencia a este esquema también se le vincula con un mayor consumo de energía primaria.

CUBIERTA SOLAR: EDIFICIO ÚNICO. SISTEMA AUXILIAR: CENTRALIZAD. INSTALACIÓN FV



El número de viviendas condiciona la alternativa de instalación de FV a escala de micro nivel. El cumplimiento de la condición del REE (rendimiento eléctrico equivalente) para motor de gas, según el RD 436/2004, encarece la instalación de la μ CHP para edificios con pocas viviendas y reducida demanda térmica

Puesto que las posibilidades de un sistema de micro cogeneración se reducen, una caldera centralizada sería la opción más factible. En comparación con un sistema μ CHP el consumo de energía primaria es más elevado.

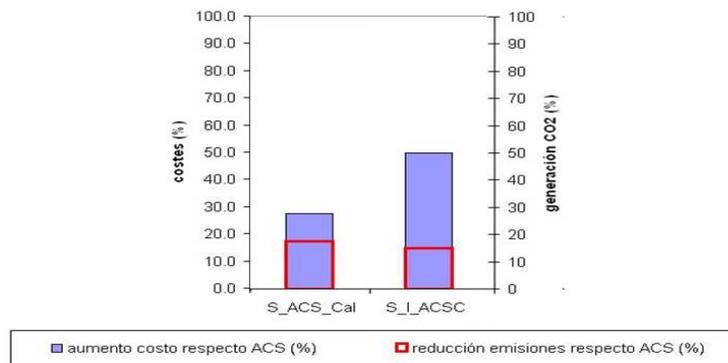


Tabla 3.16. Análisis de la opción que presenta la perspectiva más favorable desde el punto de vista de reducción de emisiones de CO₂ y económico. 1) Cubierta Solar-Sistema auxiliar: centralizado/ Edificio único; 2) Cubierta solar-Sistema auxiliar: individual/ Edificio único.

Materiales de cambio de Fase (MCF)

MCF son materiales de almacenamiento de energía en forma de calor latente. Estos utilizan enlaces químicos para almacenar y liberar calor. La transferencia de energía térmica

ocurre cuando un material cambia de sólido a líquido o de líquido a sólido. A lo que se llama un cambio de estado o de fase. El empleo de los materiales de almacenamiento de calor latente debe presentar ciertas propiedades termodinámicas, cinéticas y químicas. Por otra parte, debe tenerse en cuenta la consideración económica y fácil disponibilidad de estos materiales.

La aplicación de los MCF en los edificios puede tener dos objetivos diferentes. Primero usar el calor natural de la energía solar para calentar o enfriar por la noche. Segundo, El almacenamiento de calor o frío es necesario para acoplar la disponibilidad y la demanda con respecto al tiempo y también con respecto a la potencia. Básicamente hay tres diferentes formas para usar MCF para la calefacción y refrigeración de edificios son:

1. MCF en los muros del edificio
2. MCF en otros componentes del edificio
3. MCF unidades de almacenamiento de calor y frío.

Los dos primeros son sistemas pasivos, donde el calor o frío se almacena automáticamente cuando la temperatura interior o exterior baja o sube más allá del punto de fusión. El tercero es un sistema a activo, donde el calor o frío se almacena y es contenido térmicamente separado del edificio.

Dependiendo de donde y como se integra el MCF, se aplican MCF con diferentes puntos de fusión. Actualmente, hay una ley comercial de los MCF en la que el menor rango de temperatura está entre 5 y 25°C. Especialmente entre 15 y 20°C muestran productos de baja entalpia. Los MCF más importantes están en el rango de 22-25°C [80].

3.3. Evolución de los Escenarios de la Oferta Energética

El objetivo tradicional de la oferta energética ha sido el de satisfacer la creciente demanda mediante un conjunto limitado de alternativas tecnológicas, lo que ha favorecido las grandes soluciones centralizadas y altamente emisivas. Este proceso que funcionaba en una era de precios estables, facilitaba la introducción de la opción tecnológica y la creciente demanda reducía los riesgos económicos del exceso de capacidad instalada.

Frente al gran desafío del calentamiento global y la volatilidad de los precios de los recursos energéticos bajo la influencia del clima geopolítico y factores macroeconómicos, el

modelo energético tradicional ha comenzado a desmoronarse. Existe una creciente preocupación de que el suministro de energía ya no es seguro, ni adecuado.

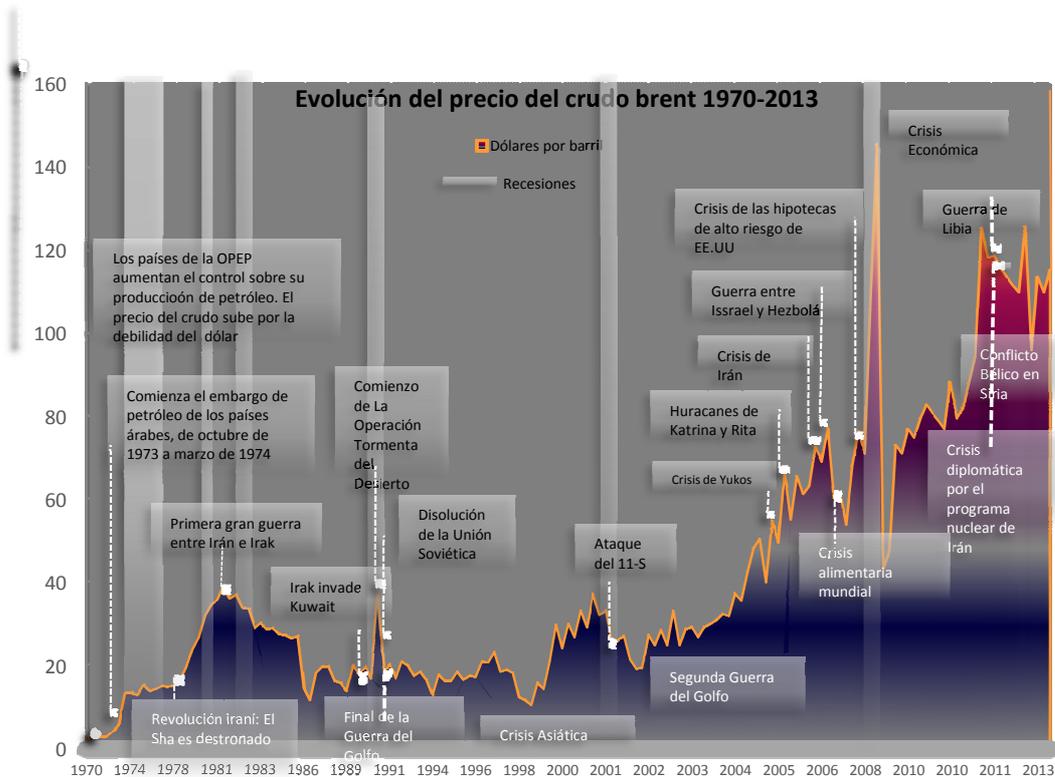


Figura 3.24. Analistas Financieros Internacionales y Administración de Información Energética de EE.UU., Middle East Economic Survey (MEES), Bloomberg y El País.

La oferta energética se enfrenta hoy al reto gestionar los riesgos asociados con la inversión de la energía en un mundo de precios volátiles, de responder ante las restricciones de emisiones de CO₂ y a una demanda fluctuante. Fomentar la eficiencia, la equidad y la estabilidad son circunstancias en las que la evolución de la oferta energética deberá trabajar para mejorar los resultados obtenidos hasta ahora. Los nuevos conceptos que actualmente emergen confirma la necesidad de estos nuevos enfoques.

La liberación en curso del mercado energético europeo, acompañada de una importante innovación tecnológica, ha permitido cambios significativos en la estructura de suministro energético. Esta nueva oferta energética, que en las últimas décadas se ha abierto camino, surge como un nuevo paradigma para replazar la elevada centralización que domina al actual sistema por nuevas soluciones de generación, distribución, y almacenamiento de energía con posibilidades de control más disperso y cualidades de servicio heterogéneo.

No obstante, es claro que el desarrollo de estos nuevos conceptos y potencialidades de la oferta energética requerirá de considerables esfuerzos destinados a demostrar su adecuado funcionamiento y viabilidad. Es necesario comprender cómo estos cambios tecnológicos afectan

un papel más activo de la demanda, modificando el modo en que se planea, opera y rehabilita la edificación, a fin de evitar adoptar dogmáticamente estas nuevas herramientas sin analizar cada caso a fondo y evaluar sus verdaderos méritos.

Este capítulo pretende dar una visión global de la evolución del escenario de la oferta energética y demostrar en qué medida las estrategias de soporte en el marco de la UE y los cambios significativos en la estructura de la oferta y la demanda, así como su dinámica interacción a largo plazo, pueden afectar el potencial competitivo o de carácter complementario de la oferta energética.

La oferta de sistemas de “alta eficiencia energética” actualmente disponibles basados en la producción combinada de energía eléctrica y térmica útil han sido ya etiquetadas por las políticas energéticas europeas como tecnologías clave para lograr la transformación del actual escenario energético altamente emisor. Dichos sistemas establecen significativas oportunidades para expandir el uso de fuentes de energía renovable y lograr importantes ahorros en el uso de energía primaria. Confían que en el futuro, con la profunda reestructuración de los modelos de demanda del sector, pueda lograrse un sistema integrado basado únicamente en fuentes de energía Renovable (RES).

Es así como, la introducción de distintas funciones de CHP, junto a medidas relevantes de eficiencia energética y la expansión de RES, son objetivos de la unión Europea como soluciones para mitigar el impacto ambiental, incrementar la seguridad en el suministro energético y asegurar la competitividad económica. Estos objetivos están expresados en la normativa vigente y en una serie de directivas como la “European Communities, 2007b”. Un tercer paquete legislativo que actualmente se está desarrollando impondrá estos objetivos de la promoción de las distintas funciones de CHP y RES.

Con el fin de alcanzar los objetivos antes mencionados, los países miembros de la UE tienen que implementar diferentes esquemas de soporte y optimizar las políticas a nivel nacional. Sin embargo, en varios países siguen sin considerarse todos los instrumentos de soporte y esquemas de planeación en distintas escalas de aplicación.

Algunos organismos de investigación internacional, por ejemplo, “International Energy Agency” (IEA) o la “Organisation for Economic Co-operation and Development” (OECD), por décadas han desarrollado escenarios de energía para explorar la innovación tecnológica y la transición hacia escenarios energéticos menos emisivos. Sin embargo, estas políticas energéticas de soporte tienden a enfocarse más en las distintas tecnologías, y menos en las estrategias que

tienen un rol principal en el proceso de integración de la nueva oferta energética y en crear nuevos enlaces entre las diversas alternativas.

Las políticas energéticas se enfrentan en la actualidad la dificultad de encontrar el acoplamiento entre la oferta y la demanda. Los objetivos de la UE para la implementación de medidas de eficiencia energética y la expansión de RES solo se lograrán si este balance puede encontrarse en los países miembros de la UE. Si el problema del acoplamiento puede superarse de modo eficiente, entonces la UE podrá avanzar hacia sus objetivos de reducción de emisiones de CO₂.

Actualmente en la mayoría de los países miembros, la generación distribuida (CHP, RES) constituye solo una mínima parte del suministro energético, por lo que hasta ahora la tarea de balancear la oferta y la demanda, así como de asegurar la frecuencia, el voltaje en la red se dejaba exclusivamente a las grandes centrales de energía. Con la implementación de sistemas de generación distribuida, tanto los sistemas de alta eficiencia energética y RES como los modelos de demanda tienen que contribuir en el proceso de estructurar el suministro de energía de la misma manera que su uso.

Es necesario determinar si los esfuerzos dedicados y la flexibilidad potencial, de ambas partes, serán capaces de adaptar los niveles de producción de energía con los niveles de una demanda fluctuante y asegurar la minimización de los problemas de seguridad e impacto ambiental, para poder identificar los límites y posibles soluciones futuras.

De este modo, en el escenario energético actual se establece una importante conexión entre el papel fundamental que adquiere la penetración de RES y las diversas funciones de CHP (como medidas de alta eficiencia energética) con los modelos de demanda. En particular en lo relacionado con el diseño de estrategias de gestión y acoplamiento de la escala, de los usos de energía y de las variaciones de las combinaciones eléctrica y térmica.

Al día de hoy, desde la perspectiva de la oferta, la flexibilidad potencial de las distintas funciones de CHP es considerada clave para resolver algunos de los problemas de equilibrio de las fluctuaciones tanto de la producción de energía eléctrica como térmica. Lo que permite, como lo hemos analizado anteriormente, establecer significativas oportunidades extender el uso a gran escala de RES, cortar los excedentes de producción, lograr ahorros significativos en el uso de energía primaria y permitir la reducción de emisiones de CO₂, así como en algunos casos la reducción de los costos.

Agregar el aprovechamiento de la energía térmica en la generación de electricidad (sistemas de CHP) puede exceder el 80% de eficiencia. Por ejemplo, en países como el Reino Unido, debido al uso del calor de bajo grado, se han alcanzado eficiencias de casi el 70% durante un largo periodo de tiempo.

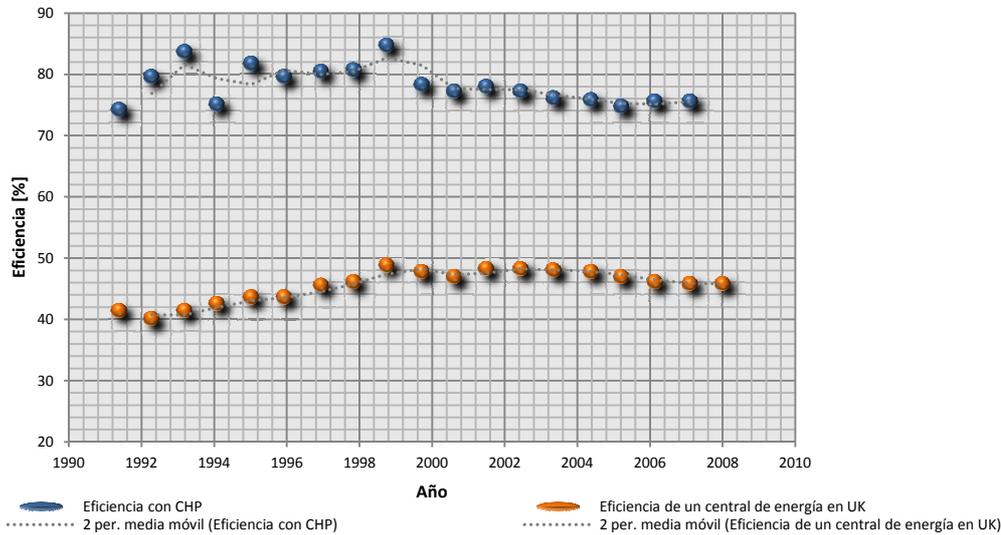


Figura 3.25. Gráfica elaborada con datos disponibles del Department of UK (Energy Statistics, 2009).

No obstante, cambios significativos en la estructura de la oferta y de los modelos demanda y su dinámica de interacción a largo plazo, pueden afectar el futuro potencial competitivo de esta oferta energética “altamente eficiente” y modificar el carácter complementario de la producción de energía eléctrica y térmica basado en sistemas RES, dando forma al futuro escenario de la oferta energética.

Un escenario a largo plazo con ambiciosos objetivos de reducción de CO_2 y cambios importantes en la estructura de los modelos de demanda, limitará el potencial de expansión de los sistemas de alta eficiencia basados en CHP.

Bajo estas condiciones, la oferta energética de sistemas de CHP, deberá demostrar su competitividad para permitir que la relación de producción de energía eléctrica y térmica sea lo suficientemente flexible en el futuro para adecuarse a los cambios necesarios en la estructura de los modelos de demanda, así como abrir nuevos campos de aplicación a las fuentes de energía renovable.

Ante este marco pueden perfilarse distintos escenarios de evolución de la oferta energética [81-83] que reflejan qué medida las estrategias de soporte y los esfuerzos concentrados en lograr los cambios significativos en estructurar del mismo modo la oferta y demanda pueden afectar la transición del escenario energético.

- Escenario de referencia: Bajo este escenario no se esperarían cambios en el comportamiento ni de las partes interesadas, ni en la aplicación de políticas, ni en la respuesta de los usuarios finales. Las medidas de gestión se seguirán adaptando al progreso tecnológico. Las restricciones se congelan de acuerdo a la legislación y no hay nuevos objetivos específicos con respecto a la reducción de emisiones de CO₂
- Escenario con elevada penetración de CHP: Consideramos como punto de partida la capacidad de modulación y reducción de la demanda. Sin embargo, se limita la contribución de RES para la producción de electricidad y energía térmica a fin de facilitar el amplio potencial de aplicaciones de CHP. Para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de CO₂, la sustitución del suministro de calor mediante gas natural del sistema de CHP se compensa con el incremento de la electricidad generada por sistemas RES. Se asume la reestructuración de los modelos de demanda, por lo que el excedente de electricidad se utiliza para producir hidrógeno, que se usa como combustible para el transporte, acelerando la disponibilidad de combustibles libres de CO₂ en el sector del transporte.
- Escenario con una importante penetración de RES: Este escenario tiene por objetivo alcanzar tanto los actuales como nuevos y más exigentes objetivos de reducción de emisiones de CO₂, y se espera que se produzcan las soluciones apropiadas para fomentar el potencial de eficiencia tanto del lado de la oferta como de la demanda. Bajo estas condiciones tendría lugar una modesta expansión de CHP bajo ambiciosas restricciones de reducción del impacto ambiental y un fuerte incremento en la contribución de los sistemas de RES para la producción de electricidad y energía térmica. Al mismo tiempo se asume el reajuste de los modelos de demanda, una importante capacidad de modulación y reducción de la demanda. El actual modelo de demanda refleja el hecho de que aún permanece intacto un importante potencial para incrementar la eficiencia en el sector. Por lo tanto, este escenario es factible bajo significativas modificaciones estructurales de los modelos de la demanda y significativas restricciones medioambientales.

Claramente los altos costos siguen representando una barrera para que la nueva oferta energética entre en competencia con la ya establecida, si no se modifican cuestiones como el

precio de emisión de CO₂. Este un aspecto fundamental que tiene que considerarse en el contexto de la políticas energéticas adecuadas, para poder promover la innovación y crear un mercado de diversas opciones tecnológicas. Los costos de las sistemas pueden reducirse con inversión en I & D, economías a escala y efectos de aprendizaje.

Con la implementación de medidas de gestión de la demanda energética cuando se somete a impuestos o restricciones, es posible modificar y redistribuir los niveles originales para promover el uso de una oferta energética potencialmente menos emisiva y contribuir a modificar las curvas de la oferta para disminuir los costos del sistema del escenario energético.

Un cambio en el nivel de demanda modificará la curva de la oferta y, por lo tanto, el punto de equilibrio a lo largo de la curva de la demanda establece la viabilidad económica inmediata o futura.

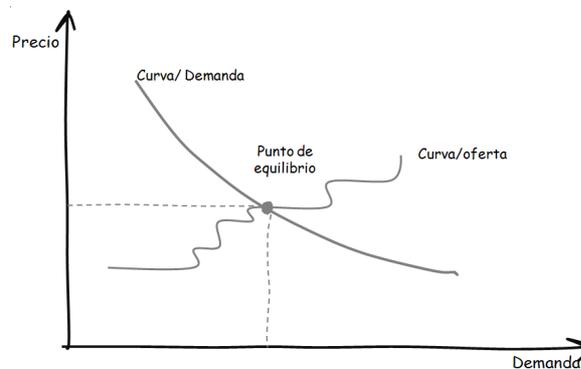


Figura 3.2.6. Hipotética modificación del nivel de demanda, y el cambio consecuente de la curva de la oferta. El punto de equilibrio establece la viabilidad económica.

Las existentes tecnologías intensivas en carbono son el resultado de políticas, regulaciones y sistemas sociales que les dan soporte y que actúan hoy como barreras para la introducción de sistemas de baja emisión. Por lo tanto, es de vital importancia grandes esfuerzos y nuevos enfoques compartidos en todos los niveles para apoyar soluciones innovadoras que reconduzcan el escenario energético.

El principal desafío para los próximos años, por lo tanto, no parece ser de naturaleza técnica. La diversidad de soluciones potenciales, intereses involucrados de diversos actores activos y la falta de herramientas que permitan despejar las incertidumbres en el análisis de innovación y evolución del escenario energético, parecen ser aspectos fundamentales que deberán tratarse. Por tal motivo adquiere un rol fundamental la capacidad de armonización de las estrategias, de los instrumentos políticos en todas las escalas, incentivos fiscales, el incremento en la coordinación y colaboración entre diversos usuarios de energía final, y diversas redes de actores que planteen nuevas soluciones.

3.4. Discusión

A diferencia de las soluciones convencionales a escala micro, el diseño del escenario energético en zonas urbanas densamente pobladas requiere de un análisis más detallado de la oferta energética actualmente disponible, incluyendo aquella que por razones técnicas o económicas no son aplicables a nivel de edificio único.

Esto se cumple particularmente cuando se consideran soluciones de “alta eficiencia” basada en la generación combinada de energía eléctrica y térmica (CHP). La eficiencia y viabilidad de estos sistemas dependen del adecuado dimensionamiento del sistema (escala), al que se vinculan la temperatura de funcionamiento, el perfil de demanda y las estrategias de gestión.

Lo mismo sucede, cuando se considera la integración de energía solar térmica, la electricidad solar, el acceso a los recursos el calor geotérmico, las aguas superficiales o la biomasa, así como otras fuentes de energía locales que entran en relación con los efectos de la escala adecuada en el contexto del área urbana.

Por lo tanto existe la necesidad de generar una nueva capacidad de análisis que ofrezca una visión energética holística de una zona urbana dada, y en la que parece ser que el enfoque adecuado de aplicación está sujeto a la influencia de los límites de barrio. De este modo, considerando las sinergias y las competencias existentes entre los diferentes aspectos energéticos que no habían sido considerado a nivel de edificio único, claramente se vuelven relevantes en el momento de tomar ventaja de estas nuevas herramientas y facilitar la reducción de emisiones contaminantes en lugar de obstaculizarlos.

Bibliografía

- [1] D. Bauknecht, European Electricity Market Analyst, PowerInk Ltd., Brighton, UK
- [2] W. Colella, Combined heat and power fuel cell systems, doctoral thesis transfer report, Department of Engineering Sciences, University of Oxford, Oxford, June 2001.
- [3] W. Colella, Implications of electricity liberalization for Combined heat and Power (CHP) fuel cell systems (FCS): a case study of the UK, Elsevier, London, UK, J. Power Sources, 2002
- [4] P. Gray, Solid Polymer Fuel Cell Prototype System for Micro-CHP Phase I: Market, Technical and Economic Study, Department of Trade and Industry, London, UK, 1999
- [5] Combined Power Systems Ltd., A Technical and Economic Assessment of Small Stirling Engines for Combined Heat and Power, department of Trade and Industry, London, UK, 1993
- [6] D. Alfonso, A. Pérez-Navarro, N. Encinas, C. Álvarez, J. Rodríguez, M. Alcázar, Methodology for ranking customer segments by their suitability for distributed energy resources applications, *Energy Conversion and Management* 48 (2007) 1615–1623.
- [7] G. Pepermansa*, J. Driesenb, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer, Distributed generation: definition, benefits and issues, *Energy Policy* 33 (2005) 787–798
- [8] Chicco, G. and Mancarella, P. “Distributed multi-generation: a comprehensive view”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13nº 3 (2009), pp. 535–551.
- [9] Pepermans, G. and Driesen, J. and Haeseldonckx, D. and Belmans, R. and D'haeseleer, W. “Distributed generation: definition, benefits and issues”. *Energy Policy*, Vol. 33 nº 6(2005), pp. 787–798.
- [10] Cogen, F. “The Future of CHP in the European Market-The European Cogeneration Study”. ESD Ltd, COGEN. 2001
- [11] Alanne, K. and Saari, A. “Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: the basis for multi-perspective decision-making”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.8 nº 5(2004), pp. 401–431.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2008.
- [13] Lund, H. “Large-scale integration of optimal combinations of PV, wind and wave power into the electricity supply”. *Renewable energy*, Vol. 31 nº 4 (2006), pp. 503–515
- [14] Pehnt, M. Environmental impacts of distributed energy systems—The case of micro cogeneration. *Environmental Science and Policy*, Vol. 11 nº 1 (2008), pp. 25–37. Elsevier
- [15] U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.
- [16] Yoshikawa, S, Japanese DHC system uses untreated sewage as a heat source CADDET Energy Efficiency Newsletter, June 1997, pp 8-10.
- [17] Balmér, P., 1997: Energy conscious waste water treatment plant. CADDET Energy Efficiency Newsletter, June 1997, pp. 11-12
- [18] Wolfram Krewitta, Joachim Nitscha, Manfred Fishedickb, Martin Pehntc, Heiner Temming, Market perspectives of stationary fuel cells in a sustainable energy supply system—long-term Dscenarios for Germany, *Energy Policy* 34 (2006) 793–803
- [19] Berntsson, T. (2002). Efficient use of biomass in black liquor gasification plants. Published in *Pulp and Paper Canada* 103:12 (2002) pp 67-73
- [20] Wu DW, Wang RZ. Combined cooling, heating and power: a review. *Prog Energy Combust Sci* 2006;32:459–95.
- [21] Resource Dynamics Corporation. Cooling, heating, and power for industry: A market assessment. Final report prepared for U.S. Department of Energy and Oak Ridge National Laboratory, Vienna, VA, August 2003; August 2007. www.cogeneration.net.
- [22] Mancarella P. From cogeneration to trigeneration: energy planning and evaluation in a competitive market framework. Doctoral thesis, Politecnico di Torino, Torino, Italy; April 2006.
- [23] Lazzarin R, Noro M. District heating and gas engine heat pump: economic analysis based on a case study. *Apply Thermal Eng* 2006;26:193–9.

- [24] Shahidehpour M, Fu Y, Wiedman T. Impact of natural gas infrastructures on electric power systems. *Proc IEEE* 2005;93(5):1042–56.
- [25] Liu XH, Geng KC, Lin BR, Jiang Y. Combined cogeneration and liquid desiccant system applied in a demonstration building. *Energy Build* 2004;36:945–53.
- [26] Hemmes K, Zachariah-Wolff JL, Geidl M, Andersson G. Towards multisource multi-product energy systems. *Int J Hydrogen Energy* 2007; 32:1332–8.
- [27] Danny Harvey LD. *A handbook on low-energy buildings and district energy systems: Fundamentals, techniques, and examples*. UK: James and James; 2006.
- [28] Chicco G, Mancarella P. Planning evaluation and economic assessment of the electricity production from small-scale trigeneration plants. *WSEAS Trans Power Syst* 2006;1(2):393–400.
- [29] Li H, Nalim R, Haldi PA. Thermal-economic optimization of a distributed multi-generation energy system—a case study of Beijing. *Appl Therm Eng* 2006;26(7):709–19.
- [30] Faninger, G.: 2000, 'Combined solar-biomass district heating in Austria', *Solar Energy* 69(6), 425–435.
- [31] H.J. Veringa, *Advanced Techniques for Generation of Energy from Biomass and Waste*. Available from <http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/bio/Overig/pdf/Biomassa_voordelen.pdf>.
- [32] MP. Ballaire, *Publication Interne ADEME*, 4, 1996.
- [33] *Energy Visions 2030 for Finland*, VTT Energy, 2001.
- [34] Maker and Penny (1999, *Heating Communities with Renewable Fuels: The Municipal Guide to Biomass District Energy*, Natural Resources Canada and USA Department of Energy, www.nrcan.gc.ca)
- [35] H.H. Schobert, *Energy and Society: An Introduction*, Taylor & Francis, New York, 2002.
- [36] *Biomass Fuelled Indirect Fired Micro Turbine B/TI/00790/00/00/REP DTI/Pub URN 05/698*, 2005. Available from: <<http://www.dti.gov.uk/files/file14923.pdf>>.
- [37] R.L. Bain, R.P. Overend, K.R. Craig, Biomass-fired power generation, *Fuel Process. Technol.* 54 (1998) 1–16.
- [38] D. Pritchard, *Biomass Combustion Gas Turbine CHP*, ETSU B/U1/00679/00/REP, 2002. Available from: <<http://www.dti.gov.uk/files/file14922.pdf>>.
- [39] N. Lineback, T. Dellinger, L.F. Shienvold, B. Witcher, A. Reynolds, L.E. Brown, Industrial greenhouse gas emissions: does CO₂ from combustion of biomass residue for energy really matter?, *Climate Res* 13 (1999) 221–229.
- [40] I.J. Fischer, *Technologies for small scale biomass CHP – plants – an actual survey*, 5, 2003. Available from: <<http://www.risoe.dk/rispubl/presentations/fischer.pdf>>.
- [41] R. Bain, *Small Modular Biopower Initiative Phase I: Feasibility studies and Executive Summaries*, Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory, 2000.
- [42] S.N. Uddin, L. Barreto, Biomass-fired cogeneration systems with CO₂ capture and storage, *Renew. Energy* 32 (2007) 1006–1019.
- [43] H.J. Veringa, *Advanced Techniques for Generation of Energy from Biomass and Waste*, ECN publication. Available from: <http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/bio/Overig/pdf/Biomassa_voordelen.pdf>.
- [44] H. Kopetz, *Present Development in Small Scale Combined Heat and Power (CHP)*. Available from: <<http://www.svebio.se/attachments/33/293.pdf>>.
- [45] *Fuzzy Logic Controlled CHP Plant for Biomass Fuels Based on a Highly Efficient ORC Process*, EESD – Part B – Project, 2000. Available from: <http://www.ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/chp/mne5_475_2000.pdf>.
- [46] I. Obernberger, Decentralized biomass combustion: state of the art and future development, *Biomass Bioenergy* 14 (1) (1998) 33–56.
- [47] K. Sipilä, E. Pursiheimo, S. Tuula, C.J. Fogelholm, I. Keppo, P. Ahtila, *Small-Scale Biomass CHP Plant and District Heating*, ESP00 2005. Available from: <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2301.pdf>>.
- [48] M. Pavlas, P. Stehlik, J. Oral, J. Sikula, Integrating renewable sources of energy into an existing combined heat and power system, *Energy* 31 (2006) 2499–2511.
- [48] Y. Cao, Y. Wang, J.T. Riley, W.P. Pan, A novel biomass air gasification process for producing tar-free higher heating value fuel gas, *Fuel Process. Technol.* 87(2006) 343–353.

- [49] R.H. Dart, D.T. Neill, J.F. Whitbeck, Conceptual Design and Cost Evaluation of Organic Rankine Cycle Electric Generating Plant Powered by Medium Temperature Geothermal Water, ANCR-1226, 1975. Available from: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=7367185).
- [50] I. Obernberger, Biomass CHP Plant Based on an ORC Process – Realized EU Demonstration Project in Admont/Austria, in Meeting of IEA Bioenergy, TASK 19 “Biomass Combustion”, 6–8th December, 2000.
- [51] Stuart Gadsden, Mark Rylatta,*, Kevin Lomas, Darren Robinson, Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS, Energy and Buildings 35 (2003) 37–48
- [52] Enrico Carpaneto, Gianfranco Chicco, Cogeneration planning under uncertainty Part I: Multiple time frame approach, Applied Energy 88 (2011) 1059–1067
- [53] Gunther Westner, The benefit of regional diversification of cogeneration investments in Europe: A mean-variance portfolio analysis, Energy Policy 38 (2010) 7911–7920
- [54] Marc A. Rosen, Efficiency analysis of a cogeneration and district energy system, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 147–159
- [55] W. Colella, Combined heat and power fuel cell systems, doctoral thesis transfer report, Department of Engineering Sciences, University of Oxford, Oxford, June 2001.
- [56] J. Sun. Hydrogen Generation for PEM Fuel Cells, Fuel Cell Today, September, 2001.
- [57] H.I. Onovwionaa, V.I. Ugursal, Residential cogeneration systems: review of the current technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 10 (2006) 389–431
- [58] Energy Nexus Group. Technology characterization: fuel cells. USA: Environmental Protection Agency; 2002.
- [59] Energy Nexus Group, Technology characterization—reciprocating engines. USA. Environ Protection Agency; 2002.
- [60] Major, G. Small scale cogeneration. The Netherlands: Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. CADDET Energy Efficiency Analysis Series I. IEA/OECD; 1995.
- [61] Vanhanen J, Loimaranta O. Micro and mini CHP, technology and market review. Final report. Finland: Otaniemi Consulting Group Oy, Helsinki; 1999 [only in Finnish].
- [62] Valkiainen M, Klobut K, Leppäniemi S, Vanhanen J, Varila R. Micro CHP systems based on PEM fuel cell. Status report [only in Finnish]. VTT Tiedotteita-Meddelanden-Research Notes: 2055, Finland: VTT Chemical Technology, Espoo; 2002 [ISBN 951-38-5804-9].
- [63] Frangopoulos CA. EDUCOGEN, The European educational tools on cogeneration. European Commission. December 2001.
- [64] A.D. Hawkes, M.A. Leach, Cost-effective operating strategy for residential micro-combined heat and power, Energy 32 (2007) 711–723.
- [65] A. Malmquist, Swedish Micro-CHP Solution – Externally Fired Microturbine System. Available from: <http://www.svebio.se/attachments/33/306.pdf>.
- [66] V. Dornburg, A.P.C. Faaij, Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies, Biomass Bioenergy 21 (2001) 91–108.
- [67] Killis, B. 2002. Evaluation of the Proposed Geothermal District Energy System for the City of Aydın with New Rating Parameters, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Part 2, pp. 595–600
- [68] Ramage, J., and J. Scurlock, 1996: Biomass. In: Renewable Energy, Power for a Sustainable Future. Boyle, G. ed. Oxford University Press, Oxford, pp. 137–182.
- [69] IEA-PVPS. Trends in Photovoltaic Applications. http://www.iea-pvps.org/products/download/rep1_16.pdf. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program, 2007
- [70] Poissant, Y & N.P. Kherani. 2009. PV Systems and Components. Presented at SBRN BIPV Workshop, 4th Canadian Solar Buildings Conference Toronto, June, 2009.
- [71] IEA-PVPS-Task 10., Community-Scale PV: Real Examples of PV Based Housing and Public Developments, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program, 2008
- [72] Bodmann, M., Mangold, D., Nußbicker, J., Raab, S., Schenke, A., Schmidt, T. Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher Forschungsbericht zum BMWA/BMU-Vorhaben 0329607F, Stuttgart. May, 2005.
- [73] T. Schmidt, D. Mangold, H. Müller-Steinhagen, Central solar heating plants with seasonal storage in Germany, Solar Energy 76 (2004) 165–174
- [74] Benner, M., Bodmann, M., Mangold, D., Nußbicker, J., Raab, S., Schmidt, T., Seiwald, H. Solar unterstützte Nahwärmeverorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher. Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606 S,

ISBN 3-9805274-2-5, Stuttgart. Januar 2003

[75] Eicker, U. . Solare Technologien für Gebäude (Solar technologies for buildings) (Istedit.) Stuttgart, Germany: Verlag B. G. Teubner, 2001

[76] D. Mangold, Central solar heating plants with seasonal storage in Germany, Solar Energy 76 (2004) 165–174. Guía de diseño de sistemas solares asistidos por district heating en el norte y centro de Europa

[77] Lund, J. Direct utilization of geothermal resources. In: Geothermal Energy Resources for Developing Countries, (Ed) D.Chandrasekharam and J. Bundschuh,, A.A. Balkema, The Netherlands, pp. 129-149, 2002

[78] Bloomquist, R. G. “Geothermal Space Heating”, Goethermics Vol. 32, pp 1-14. 2003

[79] Grupo Gas natural, Dirección de Tecnología y Medioambiente , Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificaciones de viviendas mediante energía solar y apoyo de gas natural, , 2004

[80] Mehling H, Hiebier S, Cabeza LF. News on the application of PCMs for heating and cooling of buildings. Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions feasibility studies and demonstration project, third workshop, IEA, ECES IA Annex 17, 1–2 October, Tokyo, Japan, 2002.

[81] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Emission Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

[82] International Energy Agency (IEA). Energy Technology Perspectives 2010—Scenarios & Strategies to 2050 . OECD/IEA, Paris, 2010.

[83] Birnbaum a. Weinmann, 2004. Fuel cell energy supply systems and the residential market. Report for the Subtask I of the IEA Advanced Fuel Cells ANNEX XII Stationary Fuel Cells, 2004

[84] REAP2 - Rotterdamse EnergieAanpak & -Planning 2: technische, ruimtelijke, sociale, juridische en strategische uitwerking van het REAPmodel, toegepast in de Merwe-Vierhavens. Definitief eindrapport, versie 4.3, 27 oktober 2011

[85] Kemp, I. C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, Second Edition, Elsevier, Oxford.2007

[86] REAP2 - Rotterdamse EnergieAanpak & -Planning 2: technische, ruimtelijke, sociale, juridische en strategische uitwerking van het REAPmodel, toegepast in de Merwe-Vierhavens. Definitief eindrapport, versie 4.3, 27 oktober 2011

Capítulo 4

Caracterización de la Demanda de energía final de los edificios del sector residencial y los principales factores implicados

4.1. Introducción

Tal y como lo comentamos en el capítulo anterior, el nuevo paradigma de la oferta energética requiere flexibilidad y pautas deterministas del lado de la demanda, para así facilitar su operación. La flexibilidad, para una escala espacial y temporal dada, cuantifica la fracción de la demanda que, mediante la planificación y contribución de diversas medidas, se puede desplazar o mover en el tiempo a fin de facilitar el acoplamiento.

La demanda de energía puede variar rápida y esporádicamente. El determinismo para una escala espacial y temporal dada, mide el nivel de aleatoriedad (es decir, de incertidumbre) de dichos patrones. Este nivel de incertidumbre es función de la vinculación o independencia de la demanda con parámetros como la temperatura exterior, las ganancias solares, etc.

Es importante destacar como la actual oferta de los sistemas de energía con posibilidades de modulación de la producción, requiere que la demanda, tanto eléctrica como térmica, se pueda estimar en un intervalo de certidumbre del 95%.

Bajo la actual estructura de la oferta energética, los méritos de la flexibilidad y el determinismo de los patrones de la demanda térmica y eléctrica contribuyen a una mayor eficiencia energética del sistema en su conjunto y posibilitan la reducción de emisiones de CO₂.

Sin embargo, la demanda de energía del edificio único se caracteriza por una flexibilidad limitada y una gran incertidumbre en su estimación debido a las componentes estocásticas que definen su estructura en el periodo anual.

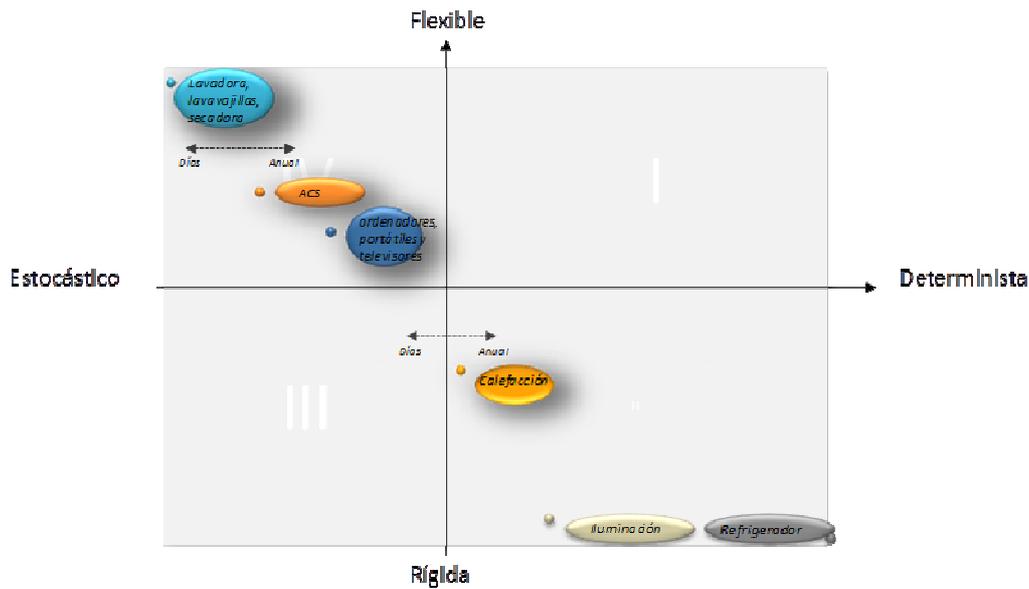
Tal es el caso de usos eléctricos como algunos electrodomésticos (lavadora, lavavajillas, secadora, etc.), que se vinculan mayormente con pautas estocásticas como influencias culturales y hábitos. Sin embargo, estas demandas pueden desplazarse mediante la introducción de un sistema de tarifas dinámicas a fin de contrarrestar esta incertidumbre, reducir la aleatoriedad y aumentar su flexibilidad.

Los usos eléctricos que presentan una mayor dificultad de desplazamiento son los que tienen mayor prioridad desde la perspectiva del usuario, tales como ordenadores, portátiles y televisores.

Las componentes estocásticas, como la ocupación, son factores que intervienen en la rigidez y el carácter no muy aleatorio de la demanda de iluminación.

En cuanto a los usos térmicos como el ACS, a pesar de no estar relacionados con la temperatura exterior, se caracterizan por una marcada naturaleza estocástica causada por el comportamiento del usuario. Entre el conjunto de variables que intervienen están: el momento en que se produce la necesidad de ACS, la duración del evento y con qué frecuencia. Se considera una demanda que podría llegar a ser medianamente flexible, ya que puede desplazarse en intervalos de tiempo dados.

A lo largo del año, la demanda de calefacción tiene una componente de incertidumbre debido a su correlación con la temperatura exterior, ganancias solares, etc. Dado que las capacidades de almacenamiento de energía térmica a este nivel no pueden contrarrestar el desajuste estacional en el acoplamiento, es también una demanda más rígida. A continuación, se muestra una grafica en donde se ubican las distintas demandas de energía del edificio único en los relativos cuadrantes.



La escasa capacidad del edificio único para mover la demanda de energía en el tiempo, bajo la actual estructura de la oferta energética, implica la necesidad de recurrir a herramientas que garanticen su capacidad de interconexión. Esto supone un importante impacto sobre las redes de energía y consolida el dominio de la energía base.

Con la ampliación de la escala de los modelos de demanda, los factores que determinan el nivel de incertidumbre de la demanda de energía eléctrica y térmica están correlacionados con la función de los diversos edificios y servicios que intervienen, y difieren en cuanto a lo relacionado a su vinculación o independencia con la temperatura exterior, ganancias solares, etc.

Dos ejemplos de funciones de edificios muy diferentes en cuanto a patrón de demanda son los centros de salud y los centros asistenciales. Los perfiles de los usos térmicos y eléctricos de los centros de salud están vinculados con las rutinas de trabajo, mientras que los de los centros asistenciales (residencias) están correlacionados con la forma ambulatoria de los residentes. Este menor control sobre su comportamiento, es la causa del carácter más estocástico de los patrones de demanda de dichos centros aunque, a su vez, sean mucho menos estocásticos que las viviendas familiares por la existencia de unos horarios y rutinas instauradas. Por lo contrario, los centros de salud son bastante deterministas debido a estrictas rutinas de trabajo que dan como resultado patrones de demanda más homogéneos a lo largo del año.

La flexibilidad de la demanda se distribuye entre los distintos usos eléctricos y térmicos. Por lo tanto, este enfoque revela cuáles son los edificios y funciones urbanas que, mediante planificación y la contribución de diversas medidas facilitan el acoplamiento. Los periodos de tiempo de mayor y menor demanda a lo largo de un año, son evidentemente los que tienen mayor y menor potencial para desplazar o mover la demanda de energía en el tiempo.

Tomando en cuenta la demanda residencial y de servicios, en los periodos de tiempo de mayor demanda, los usos térmicos como la calefacción son los que proporcionan el mayor porcentaje de capacidad de desplazamiento.

Dichos usos térmicos están correlacionados con la temperatura exterior, por lo tanto, dependen de los efectos de las funciones de los edificios, de las propiedades térmicas de la envolvente de los edificios, los periodos de ocupación, el comportamiento de los usuarios, etc. A pesar de estar subordinados a algunas variables aleatorias, en su conjunto, los usos térmicos se pueden estimar de una forma relativamente fiable. El nivel de incertidumbre de estos usos a lo largo del año varía de un edificio a otro.

Elevados porcentajes de flexibilidad de la demanda de calefacción se encuentran en la contribución de mecanismos de transferencia de calor y capacidades de almacenamiento de energía térmica de un gran grupo de edificios a partir de múltiples fuentes de calor. La complementariedad entre funciones facilita esta transferencia y puede permitir incrementar la fracción, pero solo sobre ciertos periodos de tiempo.

El nivel de incertidumbre de la demanda de ACS depende del uso del edificio y su función. Por ejemplo, en edificios de viviendas, la demanda de ACS tiene un cierto carácter estocástico causado principalmente el uso de la lavadora y del lavavajillas. En ciertos casos a lo largo del año, al carácter aleatorio diario, se superpone una pauta más determinista ligada a los ciclos de temporada estacional.

Actuando sobre un gran conjunto de edificios, se puede flexibilizar la demanda de ACS, mediante opciones como el almacenamiento o mecanismos de recuperación de calor entre distintas funciones de edificios, etc.

Con excepción de usos eléctricos más deterministas, como la iluminación que se vincula con las horas de día y sol, los factores que influyen en el nivel de incertidumbre de la demanda de energía eléctrica de un gran conjunto de edificios difieren de los que determinan la evolución de la demanda térmica.

El hecho de que el nivel de incertidumbre de los usos eléctricos también se relaciona con la función de los edificios y los efectos de los horarios de ocupación, es especialmente cierto en los patrones de usos eléctricos de edificios de usos terciarios para servicios privados como oficinas o equipamientos públicos que se agrupan dentro de la función de centros educativos. En dichas funciones, las rutinas en los niveles de actividad, tales como días festivos o vacaciones y el propio horario laboral, son la causa del carácter menos estocástico de las demandas.

Con excepción de edificios con funciones como: centros de salud y centros asistenciales, una cierta fracción de los usos eléctricos como equipamiento e iluminación en oficinas, centros educativos, centros sociales, bibliotecas, centros deportivos, etc., puede desplazarse en el tiempo a fin de reducir su aleatoriedad y aumentar su flexibilidad.

En relación a los usos eléctricos como la iluminación en un gran conjunto de edificios, los patrones de calle, los espacios entre los edificios, su altura, forma, etc. son factores que intervienen en el potencial de flexibilidad de la demanda. A esta escala es posible evaluar y controlar estos impactos e incrementar esta fracción.

Con la ampliación de la escala a nivel de barrio, las componentes estocásticas independientes que definen la estructura de la demanda de energía eléctrica y térmica de los edificios, se agregan y las variaciones temporales suelen suavizarse y aproximarse a una distribución estadística conocida como distribución log-normal. Este efecto distributivo permite una predicción más fiable y menos incierta de la demanda. Por lo tanto la escala de barrio es adecuada para reducir la incertidumbre inherente de la valoración de energía en edificios únicos.

Esta agregación de los perfiles de demanda de los edificios de una zona necesita de una adecuada clasificación de acuerdo a su función. El número de edificios de cada función es importante. Cuantos más edificios y/o funciones puedan agregarse tanto más la distribución resultante se aproximará a la distribución log-normal. Este efecto distributivo se observa en diferentes ámbitos de la ciencia (por ejemplo, en ecología para la distribución de algunas especies; en ciencias de la tierra, por lo que atine a la distribución de minerales,

etc.) y, en estadística, se conoce como el Teorema Central del Límite. Alcanzar un “efecto distributivo” significa reducir la incertidumbre e incrementar el carácter determinista de la demanda a escala de barrio.

La flexibilidad de la demanda de un gran conjunto de edificios, está vinculada con el impacto de las formas urbanas y la eficiencia. La heterogeneidad de sus funciones y el incremento de la diversidad en las áreas urbanas, contribuyen con este objetivo. Solo mediante la correlación entre la energía eléctrica y térmica es posible comparar cuáles son los mecanismos que afectan las oportunidades de este enfoque, tomando en cuenta las diversas medidas, las capacidades de almacenamiento y el menor impacto en las redes.

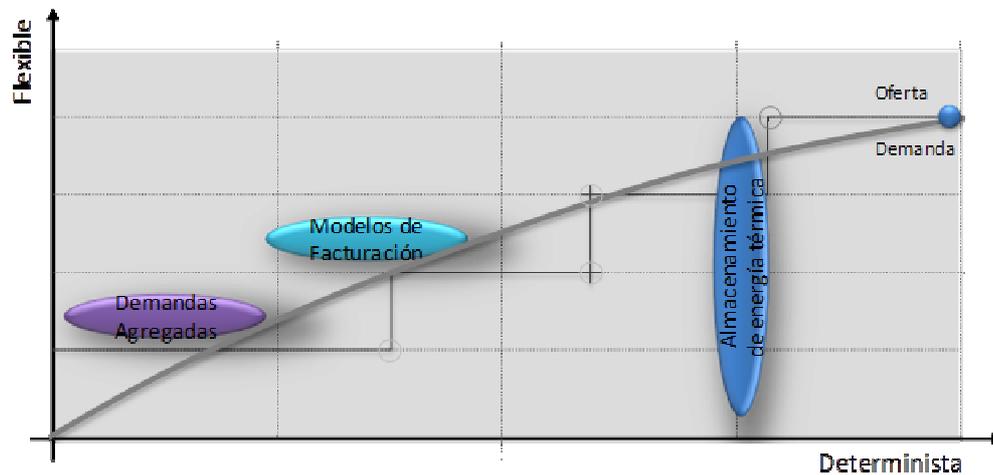


Figura 4.1. Partiendo de un escenario basado en un gran conjunto de edificios, con menor nivel de incertidumbre y capacidad de acoplamiento de la demanda, las medidas de agregación y facturación elevarían el porcentaje de determinismo. Asimismo, introduciendo capacidades de almacenamiento térmico se lograrían importantes mejoras en términos de flexibilidad.

4.2. Parámetros de la Demanda

Hoy en día, cerca del 75% de la población Europea vive en ciudades y se prevé que este porcentaje aumente alrededor del 80% en el 2020% [21]. Es sabido que en estas zonas se consume la mayor parte de la energía producida y es también ampliamente reconocida la

relevancia del sector de la edificación. En la actualidad en Europa, el consumo de energía final de los edificios eleva a un 36 % [23], la generación de emisiones de CO₂. De este porcentaje, dos terceras partes se atribuyen al sector residencial. En este sector, que representa el segmento más grande de la edificación, las necesidades térmicas para calefacción suponen alrededor del 70% del uso de energía final [24], por lo que continúa siendo la forma de energía más importante en los países miembro de la UE. Lo cual, pone de manifiesto que la necesidad de dedicar esfuerzos para gestionar mejor la demanda adquiere especial interés en contextos urbanos.

Frente a este escenario, la hipótesis que se plantea en este trabajo es que debe articularse una demanda adecuada en el sector de la edificación para acoplarse y asegurar la adecuada evolución de una oferta eficiente que es primordial para encontrar soluciones que aseguren el mayor ahorro de energía potencial en los edificios y una mayor contribución a la reducción de kg de CO₂ por kWh_e usado.

Tal como lo hemos revisado en el capítulo anterior, la oferta energética ha iniciado un ciclo de renovación que puede modificar el potencial de eficiencia energética en el sector. Sin embargo, poner en la práctica estas medidas representa un proceso complejo y la crisis actual nos ha demostrado que no todas las innovaciones tienen cabida en el mercado.

En este estudio se ha mostrado como los nuevos modelos presentados por la oferta energética, que permiten mejorar la eficiencia, el ahorro y la expansión de las fuentes de energías renovables, imponen superar los límites del edificio único y reclaman el diseño de nuevos enfoques de planificación estratégica ligadas a nueva escala.

En el escenario actual, la escala de barrio se perfila como la adecuada para captar todo el potencial técnico de estas nuevas soluciones técnicas. Así mismo, dicha escala es la que mejor favorece la creación de nuevos métodos de gestión para lograr el acoplamiento con los niveles de energía eléctrica y térmica de la oferta.

A pesar de que los acontecimientos que han tenido lugar en los últimos años intensifican la vulnerabilidad del actual escenario energético e incrementan las incertidumbres respecto al sector, en la edificación continúa permaneciendo el enfoque tradicional de planificación energética sujeto a la escala actual de promoción y gestión de la vivienda. Todo indica que son urgentes planteamientos innovadores que faciliten la

conformación de nuevas estructuras de demanda que eviten el derroche y disipación energética en la edificación.

El cambio de paradigma de la oferta energética “altamente eficiente” y la evolución de normativas de la edificación a nivel nacional e internacional, evidencian la necesidad de revertir la actual tendencia de desequilibrio entre los recursos dedicados a las opciones de suministro de energía y los esfuerzos enfocados a reducir y racionalizar la demanda de energía en el sector. Al día de hoy, los resultados de este balance han demostrado que se requieren nuevos enfoques de planificación estratégica para permitir la penetración de verdaderas soluciones.

En la actualidad, los ejemplos de proyectos que tienen previsto lograr un balance de energía casi nulo, tal como está previsto en los objetivos de la directiva de la eficiencia energética en la edificación (nZEB, edificio de energía casi nula, Directiva 2010/31/UE), se basan a nivel de edificio único y principalmente la energía eléctrica representa el lado positivo de este equilibrio. Sólo la escala de producción ‘near’ -se reconoce producción energética in situ, near y distant- implica conjugar la escala de barrio como escala en juego en el modelo nZEB.

No obstante, si las estrategias para controlar la demanda de energía eléctrica incluyen su relación con la energía térmica la definición de la escala tendrá un efecto directo sobre la capacidad de controlar el flujo de diferentes pérdidas de energía, maximizar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

En esta sección se evidencia como la variabilidad temporal de la relación entre demanda eléctrica y térmica y la acotación de la escala, son parámetros de la demanda determinantes en la adecuada valoración del acoplamiento energético de la edificación en áreas urbanas.

4.2.1 Relación Electricidad Calor.

En la determinación de la demanda de energía uno de los parámetros esenciales es la relación entre los usos de energía eléctrica E y térmica Q:

$$E/Q, \tag{3.0}$$

La actual oferta energética “altamente eficiente” se enfoca menos en la maximización de la eficiencia eléctrica y más en la eficiencia global. Dado los importantes beneficios en cuanto a reducción de combustible y mejora del resultado en emisiones de CO₂ por kWh_e generado, optimizar la variabilidad temporal de este parámetro se vuelve fundamental en la evaluación de los modelos de demanda.

Esta variable pone de manifiesto que una de las estrategias esenciales en el ajuste de la evolución de la demanda y oferta energética es encontrar la perfecta correlación entre la energía eléctrica y térmica. Es decir, es la capacidad de modificar (disminuir y desplazar) la demanda de cada tipo de energía a fin de optimizar su efecto sobre el acoplamiento entre oferta y demanda.

Solo vía esta correlación y tomando en cuenta soluciones como la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación, será posible minimizar las pérdidas, lograr un uso más adecuado de la energía y generar nuevos enfoques estratégicos sujetos a una nueva escala.

Pero la optimización de este parámetro es un asunto complejo que está estrechamente ligado con la dimensión de escala de los modelos de demanda.

4.2.2 Modulación y determinación de la escala óptima de los sistemas

El acoplamiento entre la demanda y la oferta introduce la necesidad de evaluar los límites del escenario donde el acoplamiento tenga más posibilidades de lograrse en mayor grado.

$$kW_e, \tag{3.0}$$

La determinación de la demanda de potencia eléctrica es un requisito importante para predecir la relación con la demanda térmica, y por lo tanto, para la optimización temporal del parámetro E/Q. La variabilidad temporal de esta relación varía ampliamente dependiendo del número de edificios y funciones urbanas que intervienen en el escenario energético. Y, tal y como lo hemos comprobado, las soluciones más prometedoras para gestionar la oferta de energía eléctrica y térmica intermitente se encuentran a una escala que supera al edificio individual.

Mediante el análisis de la capacidad de sincronización del perfil de demanda con las fluctuaciones en la distribución de energía y el estudio de la evolución de las características transitorias de la relación E/Q podremos encontrar la escala adecuada de los modelos de demanda. De esta manera, se definirá el actual potencial de flexibilidad y máxima capacidad de aprovechamiento de los flujos energéticos de las diversas escalas, así como sus posibles alcances para mejorar la eficiencia en edificios y zonas urbanas.

4.3. Demanda Energética Actual

La demanda energética actual de la edificación, se evalúa sobre estos parámetros a distintas escalas que van desde viviendas unifamiliares, bloques plurifamiliares (nivel micro) normalmente con potencias inferiores a $[15kW_e]$, hasta la manzana, la escala intermedia de barrios (a partir de unidades con potencias $^{-[100 kW_e]}$), y el nivel de ciudad, (generalmente escenarios distribuidos con potencias inferiores a $[50000 kW_e]$. Generalmente a escala micro la relación E/Q se encuentra en el rango aproximado de $[0.3-0.5]$, mientras que a escala de barrio la relación E/Q, que depende de patrones heterogéneos de usos y funciones propias de este nivel, tiende a valores próximos a la unidad $\sim [1]$ [8,20].

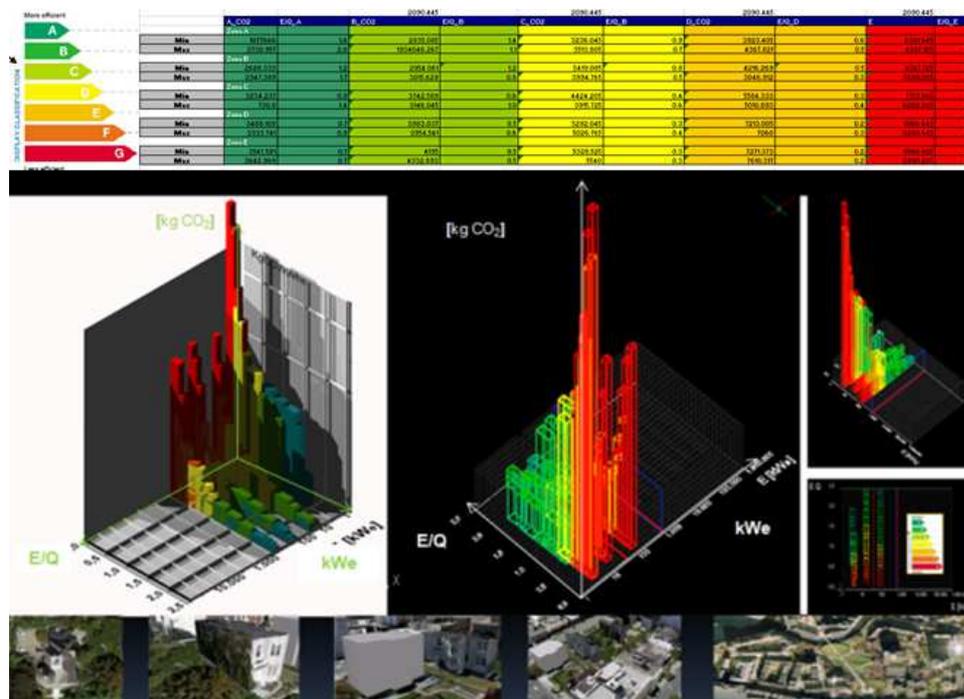


Figura 4.2. Demanda energética de la edificación, sobre los parámetros: kW_e , E/Q, $kgCO_2/kWh_e$. Grafica de elaboración propia a partir de información estadística sobre tipologías de vivienda unifamiliar, bloques plurifamiliares, manzanas, barrio tomando en cuenta el análisis diversos casos de estudio dentro de la UE y datos de las siguientes fuentes: [28, 32, 34,36, 38, 39, 49, 50, 51, 53].

De acuerdo con una primera valoración, los modelos que presentan una oferta energética con mayor capacidad de reducción de emisiones contaminantes, trabajan a una escala que supera el ámbito de la vivienda y, con ello, predice un futuro con un soporte para escenarios de demanda basados en sistemas comunitarios, de mayor escala de demanda.

El imprescindible acoplamiento entre sistemas RES (sistemas basados en energías renovables) y distintas funciones de los sistemas altamente eficientes CHP (generación simultánea de electricidad y energía térmica), en interconexión con redes de distrito o los denominados small _medium scale, constituye la mayor flexibilidad para contrarrestar las pérdidas de eficiencia en dichos esquemas energéticos. [6, 7].

Esta situación permite pulir las estrategias de oferta mediante mejoras como son: disminuir la necesidad de sistemas de apoyo tradicionales basados en combustibles fósiles, la posibilidad de diversificar la producción mediante un aprovechamiento integral de los recursos energéticos a nivel de comunidad local -tanto de fuentes continuas como intermitentes- así como la cascada de residuos térmicos (flujos de materiales tales como aguas residuales, residuos sólidos urbanos, etc.) encontrando a esos residuos térmicos un uso adecuado y evitando de este modo, su disipación.

Sin embargo, actualmente predomina en la edificación el enfoque de ofrecer energía a escala micro, mediante estrategias ligadas a la escala de promoción y gestión actual de la vivienda, usualmente el edificio, que comúnmente siguen un patrón energético disperso dentro de una organización centralizada a escala macro que emplea comúnmente fuentes de energía fósil.

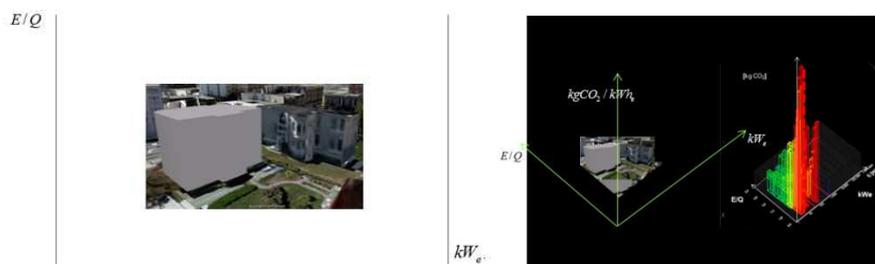


Figura 4.3. Escala micro. Nivel de promoción y gestión actual de la vivienda.

El bajo nivel de interacción, información y posibilidad de control de los flujos de energía térmica y eléctrica de dicha escala se caracteriza, como hemos dicho, por un rango de variación E/Q de entre 0.3 a 0.5. (Fig. 6.). En contraste, el conjunto de manzanas, unidades territoriales a nivel de barrio, cuyo rango de variación del valor E/Q alcanza ~0.7 a 1.2, y que pueden constituir un importante potencial para conformar demandas menos intensivas, están aún desaprovechadas.

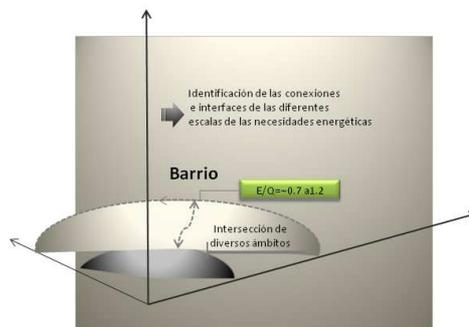
Bajo estas condiciones, la escala de barrio se perfila como la plataforma necesaria para captar todo el potencial técnico de la aplicación de soluciones de eficiencia energética en la edificación y para favorecer el ajuste de la relación de energía eléctrica y térmica a valores

que se aproximan a la unidad y que mejorar se acoplan con el suministro instantáneo de la oferta potencialmente menos emisiva.

Diversos proyectos piloto que se llevan a cabo en la actualidad han demostrado que a este nivel se posee la infraestructura necesaria para generar la propia energía y procesar los propios residuos.

El actual escenario energético, evidencia la falta de un planteamiento coherente que articule la demanda de energía sobre unas bases adecuadas orientadas a evitar el derroche y la disipación energética en el sector. Lo cual evidencia la necesidad de dedicar grandes esfuerzos para lograr las transformaciones que supongan el establecimiento de la dimensión adecuada de los modelos de demanda para hacer frente al desafío que supone habilitar el potencial de la eficiencia energética en el sector de la edificación.

Con la redefinición de la escala de la demanda en el sector, se convierte en imprescindible la identificación de las conexiones e interfaces de las diferentes escalas de las necesidades energéticas y la definición de nuevas estrategias de planeación y organización, que deberán estar basadas en un planteamiento coherente e innovador del escenario energético de la edificación.



El establecimiento del margen de variación adecuado $[E/Q][kW_e]$, deberá pasar por identificar las líneas de investigación y medidas concretas que permitan ajustar los niveles de demanda de energía eléctrica y térmica a las condiciones específicas de la oferta para facilitar un efecto sustitutivo del suministro energético, centralizado y basado en combustibles fósiles hacia sistemas menos intensivo en emisiones $[kgCO_2 / kWh_e]$,

Esta adecuación de los niveles de energía entre la nueva oferta y una demanda adecuada deberá establecer el uso adecuado de los recursos energéticos, la racionalización en el uso de la energía eléctrica y, la minimización de pérdidas de energía térmica, incluyendo en almacenamiento.

En esta sección se busca mostrar en qué medida la actual estructura de los modelos de demanda de energía de la edificación afectan las posibilidades para resolver las discrepancias de una adecuada resolución temporal de la relación E/Q.

Escala de edificio de Viviendas

Los edificios de viviendas comprenden el mayor segmento del inventario de la edificación en la UE y el sector es responsable del 67% del consumo de energía final. Gran parte de esta energía se debe a las necesidades de confort de los ocupantes que determina un creciente nivel de vida, y principalmente para cubrir los usos térmicos, los cuales representan en Europa aproximadamente el 80% del uso de energía final. La calefacción y el ACS continúan siendo los usos térmicos más empleados en el funcionamiento de las viviendas.

De este modo, en la actualidad una parte considerable del consumo de energía final sigue utilizándose para mantener valores aceptables en el interior de estos edificios dentro de un estrecho margen de temperaturas, habitualmente entre 20°C en el invierno y 25°C en el verano, y de hasta 40°-65°C para ACS. Esto corresponde a una demanda de energía de baja calidad (energía térmica a baja temperatura respecto a la del ambiente exterior) que, en gran medida, es suministrada por los combustibles fósiles.

Además, también los usos no térmicos de un edificio de viviendas tales como la iluminación y los electrodomésticos -que requieren electricidad como input- continúan abriéndose camino marcando una creciente progresión en el uso de energía eléctrica con un rango de 1.7% de aumento anual para la media de la UE [24] a pesar de la generalización de aparatos y lámparas eficientes.

Del total del uso de energía final en edificios de viviendas de la UE, el 68% es para la calefacción, el 12% para el ACS, el 4% para la cocción, y el 16% para la iluminación y equipamiento doméstico [28]. Por otra parte, si también hay un sistema de refrigeración hay que considerar un incremento del 25% en el consumo anual de energía.

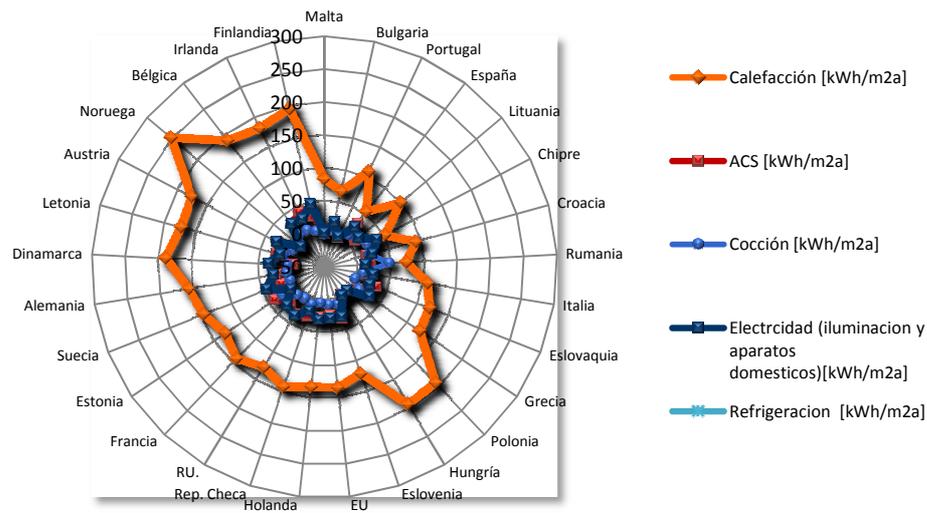


Figura 4.4. Desglose del consumo de energía final para edificios de viviendas en países de la UE. Fuente: Odyssee Indicators [28].

Dadas las condiciones que caracterizan a los edificios viviendas, muchas regulaciones, tales como la última Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (DEEE) -que ha desempeñado un papel clave en la política energética común de la UE- destacan la importancia de los esfuerzos para reducir la demanda de energía en el sector.

Las medidas implementadas en los últimos años para alcanzar este objetivo toman especialmente en cuenta las mejoras en el funcionamiento de la envolvente del edificio. La eficiencia de estas soluciones, que se clasifican dentro del grupo de los sistemas pasivos, dependen de las condiciones climáticas exteriores, con el sol y el viento, para reducir la demanda de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación natural del espacio construido.

Hoy en día se tiene constancia que un edificio solar pasivo bien diseñado puede proveer entre un 45% a 100% de la demanda de energía diaria de calefacción [38]. También se ha probado que el consumo de energía para calefacción en un edificio con un buen grado de aislamiento térmico puede ser de un 20-40% menor respecto a un edificio sin aislamiento [29]. Otro aspecto importante ha sido el de conseguir un nivel apropiado de estanquidad al aire para evitar que aumente la demanda de energía y mantener adecuadas condiciones de confort. Los estudios han demostrado que el aire que se fuga a través de la envolvente del edificio puede aumentar la demanda de calefacción entre 5 y 20 kWh/m²a en un clima templado (de 2500-3000 grados día anuales) [30].

En estas soluciones también han estado presentes otra serie de factores que varían significativamente y que tienen una contribución relevante en la demanda global de los edificios pasivos. Entre estos cabe mencionar el comportamiento del usuario, que puede influir en el nivel de demanda de energía, mediante el conocido como “efecto rebote” con lo que se desvían entre un 20 y 30% los ahorros de energía calculados [31]. Si el comportamiento del usuario no se conoce, se estima que el consumo de energía para la calefacción está gravado por un factor de incertidumbre de $\pm 24-40\%$ [32].

No obstante, la mayoría de estas medidas se basan en un enfoque de estado estacionario que no consideran los efectos transitorios de los flujos de calor a través de los cerramientos asociados a las fluctuaciones de las condiciones de contorno. Esto conduce a subestimar aspectos tan significativos del comportamiento térmico real del edificio como el efecto de la inercia térmica. Dado su impacto sobre la variabilidad temporal de la demanda de energía, el uso apropiado de esta capacidad debería ser un factor importante a tener en cuenta, sobre todo de cara actual panorama energético y de cara a las posibilidades de transición hacia un nuevo escenario.

En la siguiente gráfica, podemos comprobar el efecto de estas iniciativas aprobadas en los últimos años en el conjunto de la UE sobre la variación de E/Q ($\Delta E/Q$) de los edificios de viviendas respecto al año 1990. Para el cálculo de la variación de esta relación hemos tomado como referencia el índice ODEX (ODYSSEE energy efficiency index).

La gráfica muestra como $\Delta E/Q$ tiene una tendencia positiva, es decir, disminuye en los primeros años posteriores a 1990 indicando un mayor efecto de las medidas de eficiencia energética relacionadas con los usos térmicos respecto a los usos eléctricos. Este resultado se puede relacionar con la difusión de nuevas viviendas que en teoría consumen un promedio de 30% a 60% menos de energía para calefacción que las viviendas construidas antes de 1990. No obstante, en la actualidad estas viviendas solo representan el 20% del inventario total en la UE.

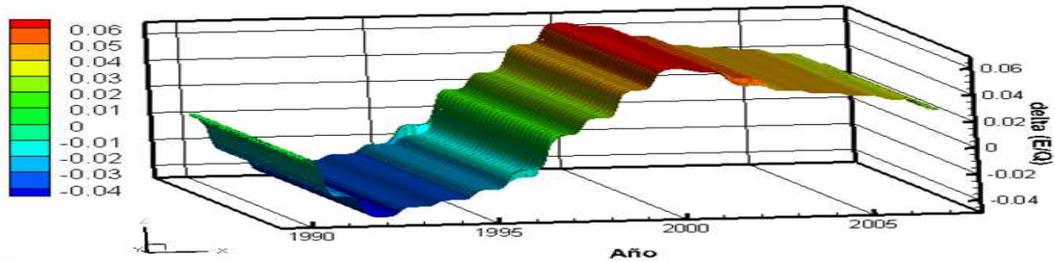


Figura 4.5. En la grafica se muestra el efecto de las soluciones de mejora aprobadas en el conjunto de la UE en los últimos años sobre la variación de E/Q ($\Delta E/Q$) teniendo como límite el edificio de viviendas. La demanda térmica se ha obtenido del promedio entre la demanda de calefacción y demanda de agua sanitaria. Fuente: índice ODEX (ODYSSEE energy efficiency index) [28]

Entrada la década de los 90's dicha propensión se ha invertido y la variación comienza a ser negativa. En los años posteriores al 2002 con la entrada en vigor de la DEEE, su refundición en el 2010 con previsiones de lograr un balance positivo en los edificios, ambas tendencias (E y Q), se han vuelto a acercar.

En conjunto, la relación E/Q ha tenido una tendencia al aumento desde la segunda mitad de la década de los años 90s. Sin embargo, los resultados no han sido tan abruptos como se pretendía con la política energética aprobada por la UE.

Al analizar el impacto de las soluciones aprobadas en el conjunto de la UE sobre la relación E/Q en un periodo que comprende desde 1997 hasta el 2009, hemos comprobado que este valor se ha incrementado muy ligeramente en el conjunto de los países miembro de la UE.

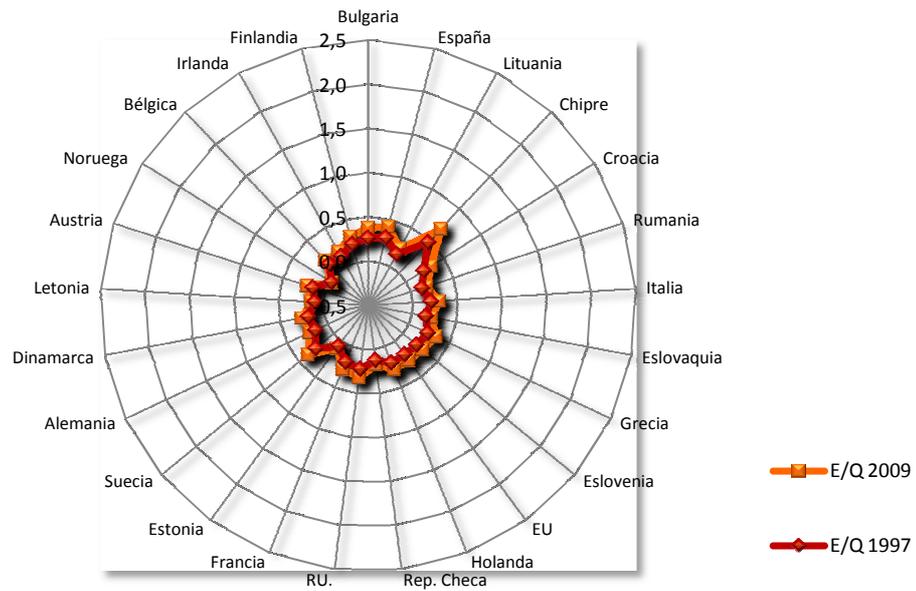
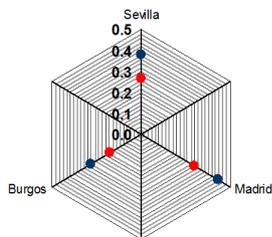


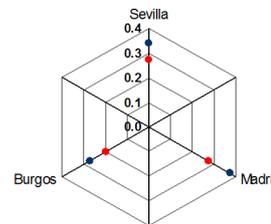
Figura 4.6. Desglose del consumo de energía final para edificios de viviendas en países de la UE[28].

Si comparamos el impacto de las medidas de mejora a nivel de vivienda adosada y vivienda en bloque, para varias ciudades españolas, podemos igualmente constatar los escasos efectos sobre la relación E/Q.



—●— Relación E/Q_ Antes: Medidas —●— Relación: E/Q_ Después: Medidas

Vivienda adosada: Valores E/Q antes y después de la aplicación de medidas de mejora de la eficiencia energética relacionadas con los usos térmicos y usos eléctricos.



—●— Relación E/Q_ Antes: Medidas —●— Relación: E/Q_ Después: Medidas

Vivienda / bloque: Valores E/Q antes y después de de la aplicación de medidas de eficiencia energética relacionadas con los usos térmicos y usos eléctricos.

Figura 4.6. Medidas estándar de relación E/Q a escala Micro (vivienda adosada y vivienda en bloque). Para estas tipologías de edificio el consumo de energía eléctrica esta en el rango de un 25-30%, mientras que el consumo de combustible corresponde al 75-80%. De acuerdo a estos datos de consumo del sector domestico, vemos como los ratios típicos, no alcanzaría el valor de 0.5. (IDAE, E4)

La siguiente grafica muestra ejemplos de la proporción entre la demanda de energía eléctrica y térmica en diferentes tipos de viviendas. Estas incluyen la distribución de la demanda de energía a nivel de la UE, y de viviendas de bajo consumo tales como el estándar suizo Minergie, Minergie-P, Minergie-P+ y el PassivHaus alemán. Sobre todo este último concepto demuestra que con una geometría compacta, una envolvente del edificio altamente aislada, ventanas de altas prestaciones y recuperación de calor del aire extraído de la vivienda, la demanda de energía para calefacción anual no debería exceder los 15 kWh/m²a. Sin embargo, llama la atención la magnitud de la restante demanda de energía térmica para ACS y de la demanda energía eléctrica para otros usos domésticos de energía.

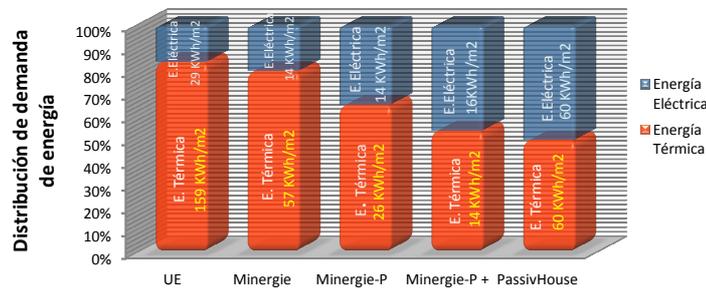


Figura 4.5. Proporción de demanda de energía eléctrica y térmica en ejemplos a escala de edificio de vivienda: Fuentes: [28], [34], [35], [36], [37]

En el futuro, los reglamentos de la edificación no solo estarán dirigidos a disminuir la intensidad de uso de la energía en los edificios, sino que también, se orientarán hacia lograr un balance positivo o de energía cero (como el nZEB). Ello pone en evidencia la necesidad de nuevos enfoques que busquen revertir la actual tendencia de desequilibrio entre los niveles de demanda y oferta de energía.

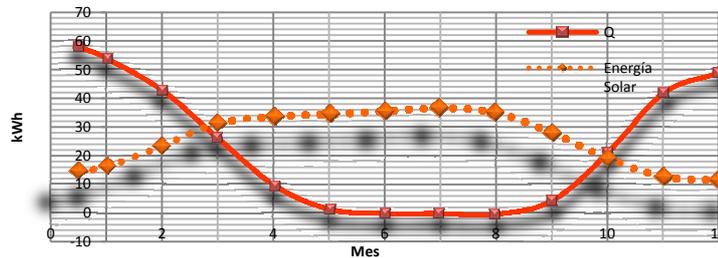


Figura 4.7. Energía solar disponible y Demanda Térmica de un edificio de consumo energético casi nulo durante el periodo de un año. Fuente: Grafica propia basada en (Sebastien Girardet al. 2012) [47]

No obstante, la actual estructura de los modelos de demanda de energía a nivel de viviendas revela la falta de oportunidades de esa escala para optimizar el ajuste con la

evolución de la oferta energética. El desfase en la relación entre la demanda eléctrica y térmica, la dificultad de transferencia de los flujos de energía y escasa factibilidad de almacenamiento estacional, son una muestra del déficit de posibilidades actualmente disponibles para gestionar la demanda y contrarrestar las pérdidas de eficiencia en el sector.

Escala de barrio

La ampliación de la escala a nivel de barrio pone de relieve nuevas sinergias y proporciona nuevas oportunidades para ajustar la relación E/Q. El factor clave reside en la mayor capacidad de esta escala para almacenar y transferir los flujos de energía eléctrica y térmica (calor/frío), así como la agrupación de demandas con diferente peso en E que en Q.

Dentro de las fronteras del barrio tienen lugar desde procesos que demandan energía de baja calidad, como es el caso de la mayoría de los procesos que corresponden a la vivienda, pero reúne muchos otros que utilizan principalmente energía eléctrica.

La siguiente figura muestra una gama de tipologías de edificios u otros servicios que son posibles dentro de los límites del barrio y que dadas las condiciones de contorno,

factores de carácter funcional, etc., presentan un comportamiento energético claramente diverso durante el día y el año respecto a las demandas de calor y de electricidad.

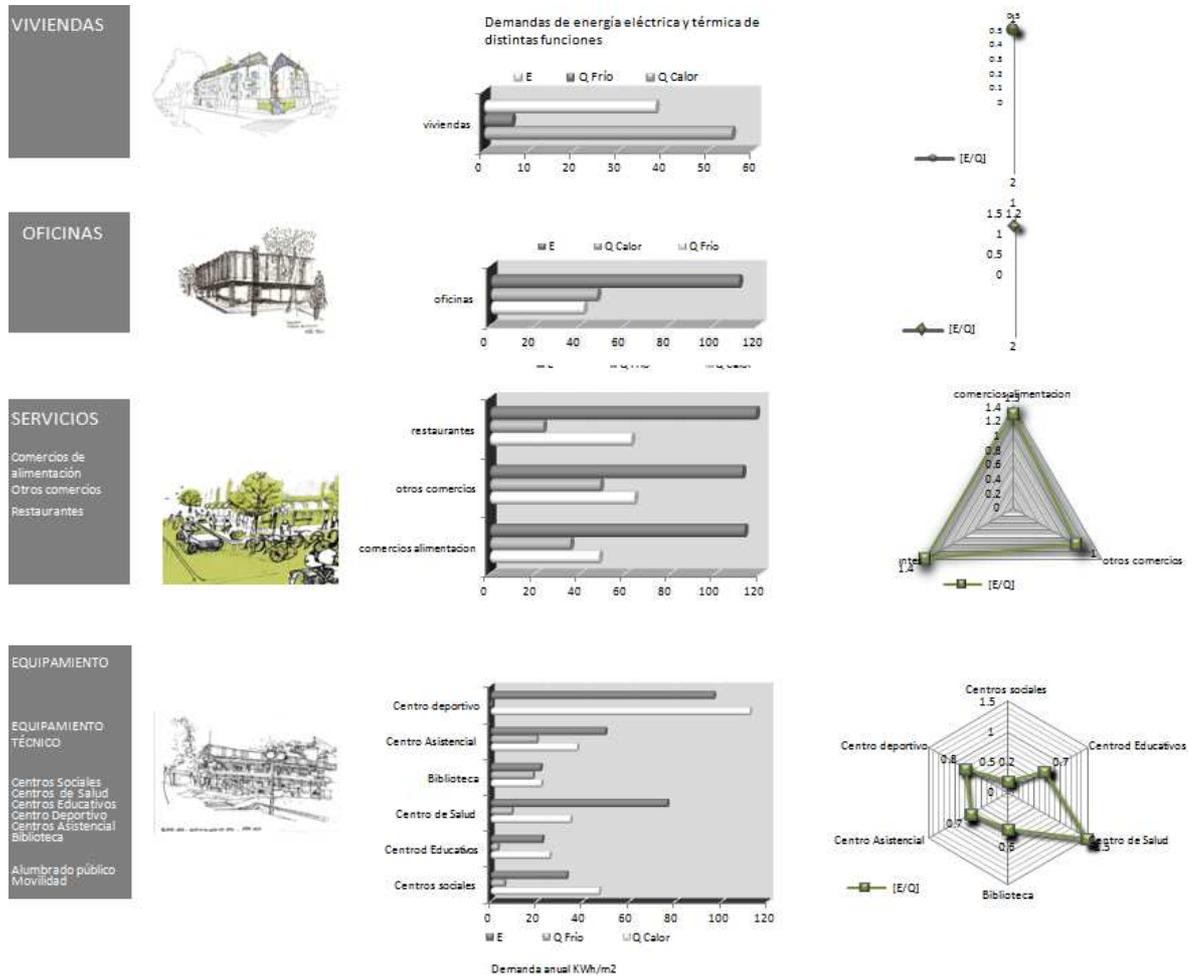


Figura 4.8. Valores de la proporción entre la demanda de energía eléctrica y térmica para un área de planificación urbana en energía. El proyecto se divide en los usos energéticos asociados Q (Calefacción, refrigeración y ACS) y E (iluminación, bombas, ventiladores, aparatos eléctricos, etc.). Para estimar estos valores se tomaron en cuenta variables como: tipologías edificatorias, rangos de ocupación, año de construcción, intervenciones de retro ajuste en los edificios (en la envolvente térmica de los edificios y mejoras en aparatos eléctricos e iluminación), superficie útil, geometría del edificio, materiales del edificio que tienen influencia en la constantes de tiempo, niveles de aislamiento, número de fachadas libres, etc. Así como los efectos de las regulaciones y normativas vigentes, etc. [49].

A partir de la vinculación de esta diversidad de patrones de demanda de energía eléctrica y térmica (calor/ frío) surgen nuevas oportunidades para controlar la oferta intermitente. Vann Kann [41] indica que para cada esquema de energía, las condiciones locales específicas determinan el tipo de funciones que son útiles para el aprovechamiento de energía urbana.

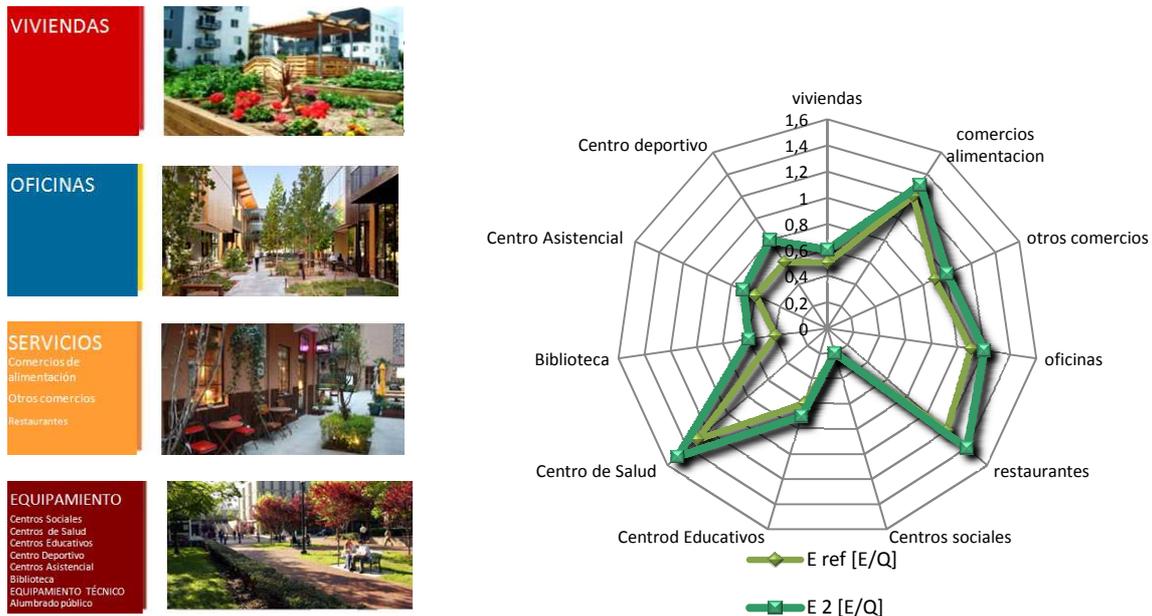


Figura 4.9. Ejemplos de valores de la relación de los usos eléctricos y térmicos (calor/frío) [E/Q] de distintas tipologías edificatorias que toman como referencia datos de la ciudad de Barcelona [50-51]. El Escenario2 modifica los valores del escenario de referencia como resultado de la aplicación de medidas de mejora de la eficiencia energética relacionadas con los usos térmicos y usos eléctricos. Fuente: [38].

Esta situación de la escala revela nuevas posibilidades para la gestión de la demanda y, como lo hemos mencionado, oportunidades para la penetración de soluciones en cuanto a mayores capacidades de almacenamiento, intercambio entre distintos patrones de uso de energía y reutilización no solo de los residuos de energía sino también de otros flujos de residuos generados por el barrio.

Tales facultades benefician a las soluciones de la demanda permitiendo minimizar las pérdidas de energía, establecer el control adecuado en la distribución de los flujos de energía térmica y elevar los niveles de eficiencia de los edificios y asentamientos. Estas cuestiones las trataremos en detalle en los siguientes capítulos.

La necesidad de considerar un contexto mayor es ya evidente en estudios como el reciente reporte del IPCC [44] que afirma que la mezcla de diferentes tipos de edificios dentro de un área dada, afecta las oportunidades para la viabilidad económica de sistemas district heating and cooling. Paatero [42] ha comprobado que un edificio único muestra

patrones con importantes picos de demanda de energía eléctrica, mientras que un gran número de usuarios suavizan la curva de la demanda eléctrica debido al desplazamiento en el tiempo de los patrones de uso.

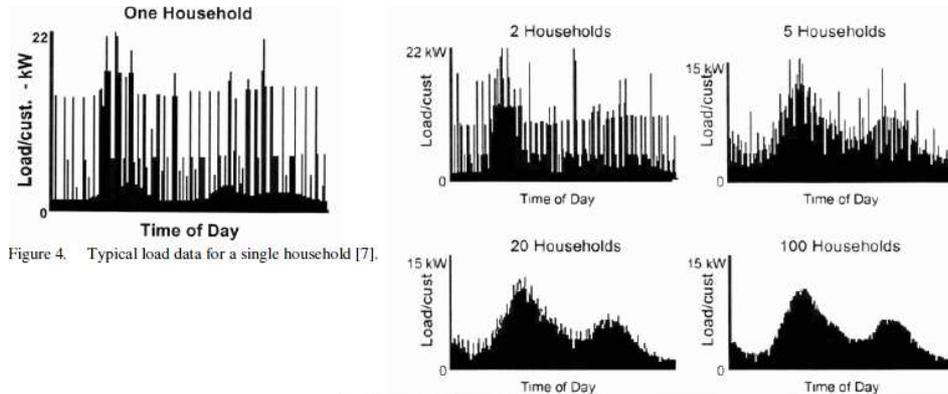
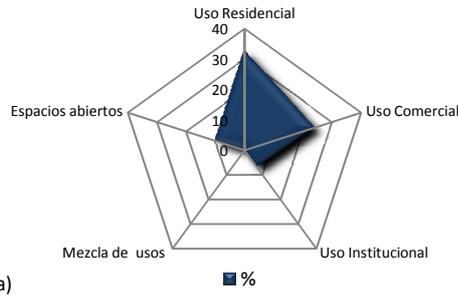


Figura 4.10. Demandas de energía eléctrica a diferentes escalas. Fuente: Paatero[42].

Hasta la fecha, aun no han sido exploradas del todo las posibilidades de acoplar los procesos de baja temperatura. Sin embargo, podemos encontrar proyectos muy recientes que han demostrado el potencial de proveer la demanda de calefacción de varios tipos de edificios mediante fuentes de calor endógenas o de calor residual [45]. Otro reciente estudio es el de “Emerald Hills Urban Village” en el que colaboran la agencia de Recursos Naturales de Canadá y la Escuela de Arquitectura y Arquitectura del Paisaje de la Universidad de British Columbia (Canadá), y en el que se analizan las posibilidades de optimizar la distribución de energía tomando en cuenta las posibilidades y limitaciones de un conjunto de soluciones tales como: diferentes usos de suelo, intensidades, tipos de edificio, organización de los espacios y características constructivas. La siguiente grafica muestra dos escenarios plausibles. También en la ciudad de Friburgo (Alemania) se investigan las oportunidades de distribución de energía en asentamientos de baja demanda energética que combinan funciones de uso terciario, tales como piscinas, hospitales, etc., [42].

Escenario inicialmente propuesto



Escenario "Deep Green"

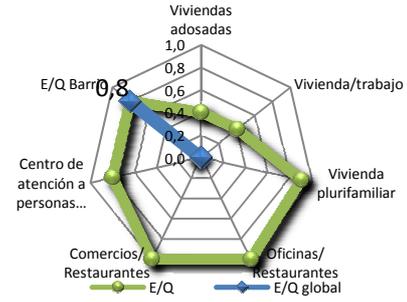
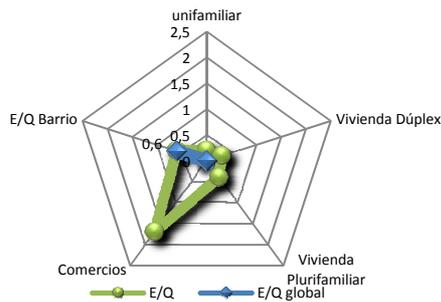
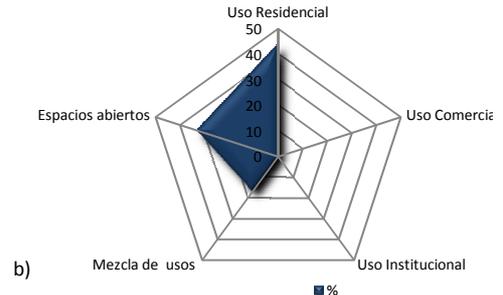


Figura 4.11. a) Escenario inicialmente propuesto: con soluciones constructivas que superan el mínimo del “Model National Code” (MNEC) y aproximadamente en un 25% el mínimo requerido por LEED. b) Escenario Deep Green: Los edificios son un 53% energéticamente más eficiente que los edificios diseñados bajo los requisitos del “Model National Energy Code”. En el escenario “Deep Green” usos de suelo son mixtos y más densos que en el proyecto previamente considerado. Se ha añadido un centro de atención a personas mayores, comercios y oficinas y los espacios abiertos se han ampliado para reconstruir las funciones hidrológicas [52].

Las medidas que más han afectado a la planificación energética centralizada provienen de una doctrina de separación de los usos de energía de la edificación de las de una serie de usos de energía específicos. Sin embargo, a escala de barrio, la optimización de la relación de E/Q también puede trascender a otras funciones de uso de energía, tales como la movilidad o ámbitos que en algunas ocasiones pueden también estar situadas periféricamente fuera de la zona de barrio.



En el caso de la electrificación del transporte se puede modificar la variabilidad temporal de la curva de la demanda. Sin embargo, el beneficio neto depende de muchos factores, incluyendo las características de la generación de la electricidad, el sistema de

distribución y también la eficiencia con la que el transporte eléctrico explota esta electricidad. Por lo que, si partimos de la estructura de nuestro actual sistema de energía centralizado, soluciones para el acoplamiento como la del vehículo eléctrico puede tener un impacto crítico en un panorama energético más amplio.

A escala de barrio, sobre todo los vehículos híbridos, representan una alternativa. Dadas las condiciones de agrupación de edificios cuyas funciones demandan energía en un momento distinto al periodo de carga de los vehículos eléctricos, es posible introducir este suministro de energía y distribuir su uso optimizando la relación E/Q.

$$\left[\frac{E}{Q} \right]_{\text{barrio}} = \left[\frac{E_{\text{barrio}} + E_{\text{movilidad}}}{Q} \right]$$

Sin embargo, esta solución deberá analizarse con profundidad sobre todo porque al asumir el diseño de nuevos patrones de gestión de la demanda a escala de barrio, esta deberá contar con la capacidad de controlar la integración de una importante demanda de energía eléctrica adicional. Por otro lado, no está nada claro que el modelo de movilidad siga basado en el uso del coche individual.

Al poder llevar a cabo operaciones descentralizadas y dar una imagen holística de las posibilidades de una planificación integral, la escala de barrio proporciona las bases para impulsar nuevos debates como, por ejemplo, si la capacidad de almacenamiento de los vehículos eléctricos o la reutilización de los residuos de energía de la industria son los mecanismos de acoplamiento adecuados para resolver los desfases del acoplamiento -ahora más reducidos- con los niveles E/Q de la oferta energética.

4.4. Evolución de la Demanda Energética

La actual tendencia de evolución de la demanda energética de la edificación, en parte favorecida por flujos de información inadecuados y por el desinterés y falta de conocimiento de políticos, promotores, consumidores y de la sociedad en general, esta dirigida a reducir los riesgos financieros de los excesos de la oferta [48]. Este modelo de planificación del sector

energético continúa beneficiando las soluciones a gran escala, transformando el funcionamiento de las ciudades urbanas y elevando a cotas trágicas la generación de emisiones de CO₂.

El gran desafío del calentamiento global, el elevado consumo de energía de los edificios en Europa, el incremento de la tasa de dependencia energética por parte de países exportadores de recursos energéticos, a los que se añaden acontecimientos que se han sucedido durante los últimos años tales como la crisis económica y financiera intensificada en muchos países miembro de la UE, demuestran la clara vulnerabilidad de este patrón de planificación energética. El contexto actual crea importantes inquietudes ligadas con la práctica actual del sector y la organización de las ciudades urbanas.

Frente a este escenario, la demanda de energía de la edificación se enfrenta al reto de contribuir a solucionar las actuales incertidumbres y de superar los obstáculos ligados con la implementación de soluciones de eficiencia, para poder así contribuir de forma más substancial a la limitación de emisiones de CO₂. Las posibilidades en cuanto a medidas de ahorro de energía, expansión de fuentes de energías renovables y la trayectoria previsible de las potencialidades tecnológicas, evidencian las oportunidades de generar planteamientos innovadores.

Promover el ajuste de la escala de los modelos de demanda en la edificación, a una escala más pertinente y más sujeta a la influencia local, así como crear nuevos métodos de gestión, parecen convertirse en instrumentos fundamentales en los que se deberá trabajar para modificar la actual tendencia de evolución de la demanda.

Necesitamos comprender cómo estos cambios de enfoques pueden transformar los métodos de organización en las zonas urbanas, el modo en que se diseña y opera en la edificación, así como las oportunidades de la rehabilitación. El objetivo es el de permitir la reducción de emisiones de CO₂, pero también contribuir a despejar las actuales incertidumbres respecto al sector y las realidades urbanas.

En este capítulo se presenta una perspectiva general de la evolución del escenario de la demanda energética del sector y se busca evidenciar en qué medida las políticas actualmente vigentes en la UE, los cambios en la estructura de los modelos de demanda de la edificación así como la dinámica interacción con la transformación de la oferta energética, afectan el potencial de eficiencia en la edificación.

A la luz de los desafíos del cambio climático como renovado foco de atención política y mediática, la promoción de edificios energéticamente eficientes sigue representando un área clave en la política energética comunitaria para reducir las emisiones de CO₂ relacionadas con el sector de la edificación y limitar la dependencia energética del exterior.

Además, la edificación energéticamente eficiente ha sido identificada por la Comisión europea (CE) como la manera más efectiva de incrementar la competitividad y estimular el desarrollo de mercados de nuevas soluciones. En concreto, según un reciente informe de la CE, el ámbito residencial podría reducir de un 20% su consumo energético de aquí a 2020[27], y mucho más de cara a 2050.

Para la UE, elevar el nivel de eficiencia energética en los edificios equivale a reducir el consumo energía y mantener la misma calidad de vida. Esto implica, entre otras cosas, controlar la transferencia de calor por radiación, conducción y convección y la capacidad de almacenamiento térmico en la estructura del edificio mismo, así como aumentar el aporte de fuentes de energía renovables en los edificios. En la actualidad, los Edificios de Consumo de Energía casi Nulo nZEB se ha convertido en un concepto destacado en el dibujo del panorama futuro de la edificación en Europa.

El papel de la eficiencia energética en la edificación está expresado al día de hoy en diversas soluciones e instrumentos políticos que contribuyen a la obtención del triple objetivo, conocido como el "20-20-20", que consiste en conseguir para el año 2020, por parte de la Unión Europea: 20% del ahorro de energía, 20% de uso de energías renovables en el consumo total de la energía, 20% de reducción de emisiones de CO₂.

Entre estas medidas, cabe destacar el reciente Plan de Acción para la Eficiencia Energética (PANEE), la Directiva 2009/125, sobre requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, la Directiva 2006/32 UE de Uso Eficiente de la Energía y Servicios Energéticos, así como el principal instrumento legislativo que afecta al uso y eficiencia de la energía en la edificación, que es la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (DEEE) que se promulgó en el 2002 y que ha sido reformada en el 2010 a fin de reforzar y añadir nuevos requisitos, particularmente ligados a la definición de Edificios de Consumo Energético Casi Nulo. La Directiva 2010/31/UE también ha sido modificada dado como resultado la Directiva 2012/27/UE cuyo objetivo es el de crear un marco común de medidas para el fomento de la Eficiencia Energética que permitiera asegurar que los países de la UE conseguirán el 20% del ahorro de energía ya comprometido con la anterior Directiva “Triple 20”.

La transposición de estas iniciativas se basan en el Principio de Subsidiariedad, que implica que los Estados Miembros de la UE tienen la responsabilidad individual de elegir e implementar soluciones que mejor correspondan a las condiciones de contorno específicas, tales como las condiciones climáticas, las particularidades locales, las características de la edificación, etc.

Debido a este principio, diferentes metodologías, instrumentos de apoyo y parámetros se introducen en cada país miembro [25]. Con ello se espera que cada Estado Miembro asegure la adopción de los Planes de acción, legislación, directivas, medidas similares y complementarias que apoyen y fomenten el comportamiento energéticamente eficiente y optimicen los resultados de los esfuerzos.

De este modo, la gran mayoría de estas iniciativas han demostrado un buen potencial para movilizar cambios en proyectos a escala de edificio único; sin embargo, no han resultado ni aplicables, ni suficientes, ni del todo efectivas para producir los cambios necesarios en las prácticas de la edificación.

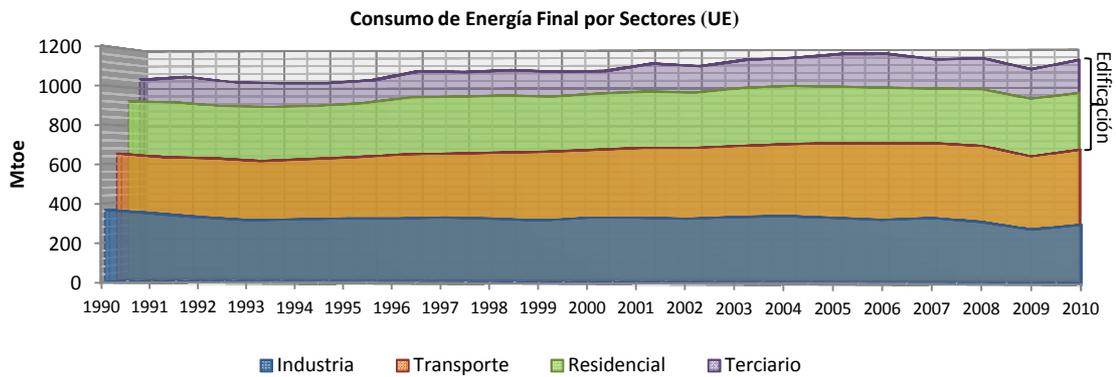


Figura 4.12. A pesar de que la caída de la actividad económica que se ha producido en la región propicio un ligero descenso en el consumo de energía en el 2009, en el periodo de 1990-2010, el consumo de energía en el sector residencial aumento un 13%, un promedio anual del 0,7%. Fuente: Eurostat

Las iniciativas vigentes de fomento de la eficiencia energética en la edificación deberán hacer frente al reto de encontrar un nuevo equilibrio entre las opciones de reducción de la demanda de energía y las alternativas de la oferta energética, que en la actualidad son mucho más complejas. Solo si pueden resolverse los desfases de este acoplamiento en el conjunto de la Unión Europea, entonces la política energética podrá conseguir los resultados en cuanto a reducción de emisiones de CO₂.

Hecha esta consideración, la adaptación de la escala de los modelos de demanda en la edificación se sugiere como una parte fundamental en el proceso de cambio hacia nueva capacidad de acoplamiento.

No obstante, al día de hoy, siguen siendo insuficientes las iniciativas e instrumentos que faciliten la penetración de soluciones así como un marco consistente que contenga todos los aspectos relevantes que caracterizan a la edificación eficiente. La falta de mayores esfuerzos dedicados en este sector ha dificultado la comprensión del escenario energético para poder superar los límites de la escala del edificio único.

Bajo estas condiciones, si no se diseñan las medidas adecuadas para que el sector de la edificación pueda alcanzar en su totalidad el potencial de eficiencia, es muy probable que continúe la tendencia creciente del consumo de energía final y el resultado en emisiones en CO₂.

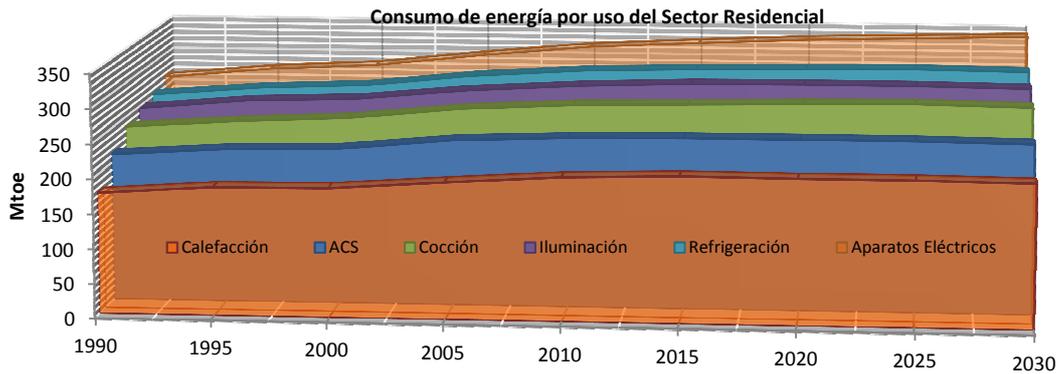


Figura 4.13. En el sector residencial, los usos térmicos representan el 22% del el consumo de energía total. La proyección del escenario base para la UE muestra un incremento en el consumo de energía para calefacción y refrigeración en un promedio anual en el rango de 0.2% en el periodo 2005 al 2030. Fuente. [26]

Las pautas y la evolución de los modelos de demanda y su interacción con la oferta altamente eficiente, constituyen en la actualidad nuevos paradigmas no solo para la edificación, sino también para la planificación urbana.

Solo un escenario con ambiciosos enfoques de planeación estratégica que movilicen profundas reformas estructurales en la demanda en la edificación y en su dinámica interacción con la renovación de la oferta, facilitará la implementación de soluciones de eficiencia y el potencial de expansión de las fuentes de energías renovables.

Frente a este contexto pueden describirse tres posibles escenarios de evolución de la demanda energética, que revelan en qué medida los impulsos dedicados en adaptar los niveles de energía con los de las alternativas de la oferta actualmente disponible pueden dar forma al futuro escenario energético de la edificación.

- **Escenario de referencia.** Bajo este escenario no se esperan cambios en cuanto a la práctica actual del sector de la edificación. se mantiene la dificultad para corregir la tendencia de la demanda de energía siguiendo la lógica económica de la actual planificación energética. No se producen cambios en los flujos de información y los instrumentos políticos continúan siendo insuficientes. No hay nuevos objetivos específicos respecto a la reducción de emisiones de CO₂
- **Escenario consagrado a la penetración de sistemas de alta eficiencia.** A fin de establecer la adecuada variabilidad de la relación E/Q, se prevé la conformación de una nueva estructura de los modelos de demanda del sector, que favorezca la

minimización de las pérdidas de energía, maximice la eficiencia, establezca la recuperación y el manejo adecuado de los residuos de energía.

Se espera que tanto la edificación como la planeación urbana enfrenten los importantes desafíos que supone superar los límites de lo individual por el de una contribución innovadora y colectiva del escenario energético de la edificación, que reclaman la diversidad de las nuevas soluciones y medidas energéticas.

Este escenario impone establecer acuerdos en aspectos específicos tales como favorecer la capacidad de almacenamiento de energía, propiciar umbrales específicos en cuanto a densidad, mixticidad de usos de energía, regulación de los usos de suelo, etc.

La proximidad de usos y funciones urbanas permite constituir una nueva capacidad de gestionar la demanda de energía y de reubicar el perfil E/Q, al verse favorecidos por una presencia comercial, industrial u otros servicios urbanos como el transporte. Esto posibilita el aprovechamiento de excedentes y evita déficits de energía debido a la cascada de residuos de energía que hace posible una distribución energética más adecuada a las diversas necesidades.

Bajo nuevos procedimientos e instrumentos innovadores de planificación se espera favorecer el control de aspectos que tienen impacto en la variabilidad temporal de los niveles de demanda de energía, al tiempo que tiene lugar la optimización sinérgica de una red de múltiples fuentes de energía del entorno local, tanto de fuentes continuas como intermitentes. De este modo, se puede generar la habilidad de producir la propia energía en relación a la demanda de energía total movilizand o los factores locales.

- **Escenario con elevada expansión de fuentes de energía renovable.** este escenario prevé la transición hacia un modelo de demanda flexible que contribuya a resolver las fluctuaciones entre los déficits y excedentes de RES al tiempo que limita la expansión de sistemas de alta eficiencia basados en CHP. Lo cual solo es viable bajo significativas restricciones medioambientales e importantes modificaciones estructurales del actual modelo de demanda.

En este contexto, se prevén nuevos enfoques que destaquen los elementos que tienen impacto en los niveles de demanda de energía. Así como instrumentos que regulen y den soporte a los cambios necesarios en la edificación e impulsen una nueva

organización urbana, para dar respuesta al reto que supone lograr el aprovechamiento de fuentes RES en relación a la demanda de energía total.

El escenario que puede acercarnos a un sistema energético basado en fuentes RES prevé un enfoque holístico e integral capaz de extender la planeación de la energía a más de lo necesario hoy en día en el sector, así como revitalizar la visión que tenemos de la realidad urbana.

Dado que aumentarán las soluciones necesarias para articular una Relación Electricidad Calor (E/Q) adecuada, se espera que tanto arquitectos como planeadores urbanos articulen diferentes medidas que, bajo un planteamiento coherente, permitan asegurar la transición a sistemas RES en las ciudades. Este cambio estará condicionado por la capacidad para gestionar la incertidumbre, la flexibilidad para minimizar las pérdidas de energía

Se prevé favorecer la capacidad de almacenamiento de energía en la edificación, mejorar el aprovechamiento solar, restablecer acuerdos para optimizar la densidad, las particularidades del espacio público, maximizar los beneficios de las medidas de la edificación pasiva. Así como se prevé también formular convenios de gran alcance que tomen en cuenta el uso de energía y la generación en sitio.

La actual escala de promoción de eficiencia en la edificación es el resultado de iniciativas políticas, marcos de regulación, trasfondos culturales, factores colectivos, intereses económicos involucrados, métodos de organización y producción que le han dado soporte y que han contrarrestado de modo ineludible las soluciones que fomenten una edificación menos intensiva en emisiones de CO₂

Con lo cual, las principales dificultades que el sector se encontrará en un futuro para manejar el proceso de cambio no parecen tener tanto un carácter tecnológico como organizativo. La falta de nuevos enfoques de planificación estratégica que proporcione la información y la experiencia en cuanto a variedad de soluciones y medidas posibles, parecen ser obstáculos importantes que deberán resolverse.

4.5. Discusión

Frente al escenario actual, la exigencia de implementar soluciones que permitan contraponer el intensivo modelo de demanda, sugiere la necesidad de modificar la escala de valoración de la eficiencia. Lo cual lleva a nuevos planteamientos de planificación que deberán considerar las sinergias y competencias existentes entre diversos aspectos energéticos que no pueden ser evaluados al nivel de edificio único y que claramente se vuelven relevantes con los efectos de la escala en el contexto de las zonas urbanas.

Bajo este nuevo potencial, el escenario energético de la edificación puede establecerse como una importante conexión entre los modelos de demanda de energía y el papel fundamental que en la actualidad adquieren las medidas de eficiencia en cuanto a generación de potencia descentralizada y capacidades de almacenamiento.

Dicho enlace adquiere un interés particular en lo relacionado con la acotación de la escala y el ámbito de la gestión, ya que estos instrumentos parecen convertirse en el presente en iniciativas explícitas y oportunidades para orientar los procesos de cambio hacia una edificación eficiente.

Frente a este escenario se reconoce la relevancia que tiene la escala dentro de los límites de barrio como un importante papel activador de la eficiencia en la edificación, al facilitar la implementación de nuevas soluciones.

La importancia del barrio ya se ha reconocido en diversos estudios debido a su carácter operativo en el proceso de planeación urbana. Aun cuando muchas de estas investigaciones presentan discrepancias prácticas sobre su definición contemporánea debido a los diversos atributos que lo caracterizan, tales como la infraestructura, los niveles demográficos, las características estructurales de los edificios, la disponibilidad de servicios públicos, de proximidad, las características políticas, de redes sociales y culturales, etc., sigue estando patente su condición relevante como posible promotor de modelos urbanos más sostenibles.

Dentro del ámbito urbano, la escala de barrio es esencial para facilitar la adecuada valoración y el control de los diversos aspectos que tienen impacto en la conformación de estructuras de demanda de energía final más eficientes. Sin embargo, superar los límites del edificio único por el arraigo en el contexto local de barrio, implica la formulación de estrategias específicas.

¿Cuáles son las estrategias para la eficiencia ligadas a la escala de barrio que permitirán movilizar los cambios en la práctica actual de la edificación para lograr la reducción de kg de CO₂ por kWh usado?

Dar respuesta a esta cuestión implicará sin duda un impacto significativo sobre la evolución de la demanda del sector que tal y como hemos visto continua siendo muy extendida en aplicaciones de energía térmica y eléctrica.

Además, esta interrogante deberá ser hoy una tarea que deben compartir el sector de la edificación y la planeación urbana con la del sector de la oferta energética, ya que puede constatar la necesidad de disponer de un nuevo potencial transformador, que contrarreste la falta de coexistencia de las soluciones llevadas a cabo en ambos ámbitos y su efecto negativo sobre los niveles de demanda de energía final.

El cambio climático y los eventos actuales, tales como la crisis económica y financiera, que sin duda tendrán un efecto sobre la oferta y la demanda, nos obligan a que grandes cambios en la edificación se hagan posibles. No obstante, las verdaderas soluciones no tendrán lugar sino sabemos aprovechar el momento y comenzamos a comprometernos con las cuestiones energéticas y con una verdadera contribución a las estrategias de limitación de emisiones de CO₂

Bibliografía

- [1] EC Green-Paper—Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Commission of the European Communities, COM 769, Brussels, November 2000.
- [2] L. Mantzos, P. Capros, N. Kouvaritakis, M. Zeka-Paschou, European Energy & Transport—Trends to 2030. Directorate General Energy & Transport, Brussels (ISBN 92-894-4444-4), January 2003, p. 220.
- [3] D. Chwieduk, Towards sustainable-energy buildings, Applied Energy 76 (1–3) (2003) 211–217.
- [5] Mikler, V., A. Bicol, B. Breisnes, and M. Labrie. Passive Design Toolkit: Best Practices. <http://vancouver.ca/sustainability/documents/PassiveDesignToolkit.pdf>. Vancouver, BC: City of Vancouver. 2008
- [6] ASHRAE. Chapter 33 Solar Energy Use. ASHRAE Handbook HVAC Applications. Atlanta, GA: ASHRAE, 2007.
- [7] Chiras, D. The Solar House Passive Heating and Cooling. White River Junction, VT : Chelsea Green Publishing, 2002.
- [8] CMHC. Tap the Sun Passive Solar Techniques and Home Designs. Ottawa : Canadian Mortgage and Housing Corporation. 1998.
- [9] Charron, R & A. Athienitis. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. ASHRAE Transactions. 112: 285. 2006
- [10] Hastings, R and M. Wall. Sustainable Solar Housing Strategies and Solutions Volume 1. Sterling, VA : Earthscan. 2007
- [11] Galloway, T. Solar House a Guide for the Solar Designer. Oxford : Architectural Press Elsevier. 2004.
- [12] Maugard, A. Comité Opérationnel n°1. Bâtiments neufs publics et privés. Rapport au ministre d'Etat, ministre de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, rapport final-mars, 2008.
- [13] Sigrid Reiter, Véronique Wallemacq. City Energy Management: A Case Study on the Urban Area of Liège in Belgium. The Third International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, 2011
- [14] Arunava Sarkar, Low Energy Urban Block: Morphology and planning guidelines. 45th ISOCARP Congress, 2009
- [15] Knowles, R.L. Sun Rhythm Form, Cambridge, MA: MIT Press, 1981.
- [16] Albers, G. Grundriß der Stadtplanung / Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Vincentz, Hannover, 1983
- [17] Breuer, B., Schmell, R. Neue Stadtquartiere Bestand und Qualitäten - Vorgehen und Ergebnisse der laufenden Bestandserhebungen des BBR zu neuen Stadtquartieren, BBR (ed.), Bonn, 2007
- [18] Galster, G. On the Nature of Neighbourhood, Urban Studies, Vol. 38 (12): 2111-2124, 2001.
- [19] L. Mantzos, P. Capros, N. Kouvaritakis, M. Zeka-Paschou, European Energy & Transport—Trends to 2030. Directorate General Energy & Transport, Brussels (ISBN 92-894-4444-4), January 2003.
- [20] A.J. Marszala, Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, Energy and Buildings 43 (2011) 971–979
- [21] European Environment Agency. The European Environment. State and outlook. Urban environment, 2010
- [22] European Parliament, Council. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal L, 153, 13–35. Retrieved from. <http://eur-lex.europa.eu>, 2010
- [23] European Commission. Energy Efficiency in Buildings Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm (último acceso 14/04/2011)
- [24] Agencia Estadística de la Unión Europea. Eurostat: Disponible en: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (último acceso 03/08/2011)
- [25] Jensen, O.M.; Wittchen, K. and Thomsen, K.E. Towards very low energy buildings Energy saving and CO2 emission reduction by changing European building regulations to very low energy standards. SBI 2009:03. Danish Building Research Institute, Aalborg University, 2009
- [26] European Commission. European energy and transport. Trends to 2030, Directorate-General for Energy and Transport, 2007

- [27] European Commission, Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, Communication from the Commission, COM(2006)545 final, 2006.
- [28] Odyssee Indicators: Disponible en: <http://www.odyssee-indicators.org/> (ultimo acceso 20/01/2013)
- [29] C.A. Balaras, K. Drousa, A.A. Argiriou, D.N. Asimakopoulos, Potential for energy conservation in apartment buildings, *Energy & Buildings* 31 (2) (2000) 143-154.
- [30] ASIEPI project: Diponible en: www.asiepi.eu (ultimo acceso 08/02/2013)
- [31] R. Haas, P. Biermayr, The rebound effect for space heating empirical evidence from Austria, *Energy Policy* 28 (6-7) 403-410, 2000.
- [32] M. Lundin, S. Andersson, R. Östlin, Development and validation of a method aimed at estimating building performance parameters, *Energy & Buildings* 36 (2004) 905-914.
- [33] Annex 32. Economical heating and cooling systems for low energy houses. IEA Heat Pump Centre. Sweden, 2011
- [34] AICIA . Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción. IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía Madrid , 2009
- [35] Minergie, Minergie [online]. Disponible en: http://www.minergie.ch/home_en.html com/, (último acceso 21/03/2013)
- [36] Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable. IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid , 2011
- [37] Passivhaus Instituts, Passivhaus Instituts [online]. Available from: http://www.passiv.de/index_PHI.html, (último acceso 21/03/2013)
- [38] ASHRAE, Solar Energy Use, ASHRAE Handbook HVAC Applications, ASHRAE, Atlanta, GA, 2007
- [39] Pla de Millora Energètica de Barcelona. Agència d'Energia de Barcelona. Barcelona, 2002
- [40] P Duijvestein CAJ. Drie Stappen Strategie. In: Dicke DW, Haas EM, editors. *Praktijkhandboek Duurzaam Bouwen*. Amsterdam: WEKA; 1997. p. (20)1-10.
- [41] Van Kann, F. Exergieplanning in Zuidoost-Drenthe. In: Noorman, K.J., de Roo, G. (Eds.), *Energielandschappen, de 3e generatie*. Boekvorm, Assen, pp. 312e325, 2010
- [42] Paatero, J. Computational Studies on Distributed Energy Systems, Department of Applied Physics, Faculty of Information and Natural Sciences, Helsinki University of Technology, Helsinki, 2009.
- [43] Hoppe, K. Zero emission districts – between vision and reality, paper presented at Local Renewables Freiburg 2011: Green Buildings and Renewable Energy: The Way Forward in Urban Development, Freiburg, Germany, October, 27-28.2011
- [44] Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment, 2014
- [45] Girardin, L., Marechal, F., Dubuis, M., Calame-Darbellay, N. and Favrat, D. EnerGis: a geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas. *Energy*, 35, 830-840. 2010.
- [46] DEEE. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Diario Oficial de la Unión Europea 14.II.2012
- [46] Voss, K., I. Sartori. I.Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings. EuroSun 2010. Graz, Austria.2010
- [47] Sebastien Girard, Andreas Koch. Urban neighbourhoods. ECEEE 2011 summer study. Energy efficiency first : The foundation of a low-carbon society, 2011
- [48] Hyman, L. S. America's electric utilities: Past, present and future (4th ed.). Arlington, VA: Public Utilities Reports, 1992

[49] Linda Pedersen , Jacob Stang, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. *Energy and Buildings* 40 1124–1134. 2008

[50] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Escala de calificación energética para edificios existentes Calificación de eficiencia energética de edificios. Madrid 2011.

[51] Regional, Barcelona. "Pla de millora energètica de Barcelona." Barcelona Regional. Sodupe, m Dir. 2004

[52] Kellett, R., Cavens, D., Miller, N., Campbell, E., & Mayhew, W. Decision support tools in a Sustainable Urban Neighbourhood (SUN) pilot project. 2007

[53] Gian Vincenzo Fracastoro*, Matteo Serrainob, A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications, *Energy and Buildings* 43 (2011) 844–852

Capítulo 5

Acoplamiento. Escenarios Energéticos e Identificación de Estrategias

5.1. Introducción

En la actualidad, las iniciativas de apoyo y fomento al comportamiento energéticamente eficiente en la edificación se enfrentan al reto de encontrar un nuevo balance con la compleja transformación de las soluciones disponibles en cuanto a medidas de eficiencia en la oferta y expansión de fuentes de energías renovables. Solo si puede resolverse este desfase, se podrá asegurar entonces una mayor contribución a la reducción de kg de CO₂ por kWh_e usado en la edificación.

Frente a este marco, la adaptación de la escala del escenario energético es una parte fundamental en el proceso de cambio hacia una nueva capacidad de acoplamiento entre la oferta y la demanda energética. El reto planteado por el desfase entre oferta y demanda evidencia que es necesario extender la planeación de la energía más allá de lo realizado hoy en día por el sector.

En este capítulo se presenta un análisis general de los escenarios energéticos en el contexto de las áreas urbanas. Estos escenarios deben entenderse como propuestas de acoplamiento de los modelos de demanda de la edificación a las nuevas soluciones de la oferta energética.

Dicho planteamiento asume que en el proceso de cambio hacia edificios y asentamientos eficientes hay que considerar también el papel fundamental que cumple la manera en la cual se genera, distribuye y almacena la energía térmica y eléctrica, incluyendo aquellas posibilidades que superan la escala de edificio único como elemento clave de gestión energética.

La edificación tiene un amplio rango de posibles escenarios energéticos que se distinguen por un conjunto de atributos incluyendo entre otros –los usos de energía, las combinaciones eléctricas, térmicas (calor/frío), etc. Dichas características pueden ser propias no solo de un edificio único de viviendas, sino también del agrupamiento de edificios, o de la mezcla de edificios que cumplen distintas funciones, así como los servicios dentro de un área determinada, etc.

Tales condiciones representan posibles sinergias para resolver los desfases del acoplamiento e influyen de manera importante en la aplicabilidad de un amplio rango de soluciones técnicas y en las oportunidades de las medidas estratégicas de sincronización entre los niveles de energía eléctrica y térmica. En estas medidas se incluye, como factor clave, la capacidad de almacenamiento que posibilita la inercia térmica en los edificios así como otras estrategias de transferencia de los flujos energéticos

De este modo, el análisis del escenario energético adquiere un interés particular en lo relacionado con la acotación de la escala y el ámbito de la gestión, ya que sus efectos parecen estar relacionados con la posibilidad de controlar los flujos de diferentes calidades de energía, mejorar el uso de los recursos energéticos y definir su impacto ambiental.

5.2. Rango de posibles Escenarios Energéticos dentro del ámbito de la Edificación.

Con el concepto de escenarios energéticos, nos referimos a propuestas de acoplamiento de los modelos de demanda de la edificación a los sistemas de oferta de energía altamente eficientes actualmente disponibles y anteriormente descritos.

Como hemos visto, la edificación tiene un amplio rango de posibles escenarios energéticos, caracterizados por distintas realidades –de escala, de usos de energía, de combinaciones eléctricas, térmicas, etc.– sujetas a situaciones concretas. Estas situaciones, que son propias de cada escenario, se definen en términos de los parámetros antes enunciados: potencia (kW_e), relación entre demandas de electricidad/calor (E/Q) y emisiones de CO_2 asociadas a cada kWh_e usado.

La obtención del efecto de acoplamiento entre la demanda y la oferta energética de sistemas “altamente eficientes” implicará la implementación de estrategias de sincronización de los parámetros que las definen, evidenciando así los escenarios óptimos de demanda.

5.3. Evaluación de los Factores que provocan los desfases entre oferta y demanda.

Para el planteamiento de las principales estrategias de optimización deberán considerarse los factores que pueden provocar los desfases entre oferta y demanda energética, que determinarán la vulnerabilidad del escenario, es decir, si se trata o no de un proceso viable y eficiente de acoplamiento energético.

Así, evaluaremos la pérdida de eficiencia en el efecto de acoplamiento mediante el análisis de los posibles desfases entre oferta y demanda energética, definiendo la siguiente función.

$$f_{kWh_e}(t) = d_{kWh_e}(t) - of_{kWh_e}(t)$$

En donde:

- $f_{kWh_e}(t)$ = Desfase puntual entre oferta eléctrica [kWh_e] y demanda eléctrica [kWh_e] en un tiempo t
- $d_{kWh_e}(t)$ = Demanda de energía eléctrica
- $of_{kWh_e}(t)$ = Oferta de energía eléctrica

Cuando la función f es positiva o negativa se está verificando un déficit o excedente de energía eléctrica, evidenciando las pérdidas de eficiencia de los modelos de demanda. Si f es nula la oferta y demanda de energía eléctrica están puntualmente acopladas, lo que evidenciaría procesos más eficientes.

5.4. Análisis del Potencial de Acoplamiento de los sistemas y la demanda de energía.

Para estudiar el potencial de acoplamiento de los sistemas y la demanda de energía en un periodo de tiempo Δt hay que sumar todos los desfases que se dan en dicho periodo de tiempo. Esto se puede expresar como la integral del valor absoluto de f en el intervalo de tiempo considerado (por ejemplo las 24 horas del día):

$$A = \int_0^{24} |f| \cdot dt$$

Donde, A es el acoplamiento entre oferta y demanda energética eléctrica.

Cuando A adquiere valores muy pequeños, próximos al cero, el esquema se puede considerar bien acoplado. Deberá también considerarse que esta condición se cumplirá siempre y cuando la tendencia de: $A \rightarrow 0$, evite que la oferta térmica exceda la demanda térmica. Es decir, A sería una medida de la eficiencia del escenario energético.

Concentrar el acoplamiento en el factor eléctrico de la oferta energética se debe a la más alta calidad de este tipo de energía y a la capacidad de almacenamiento de energía térmica que posibilita la inercia térmica de los edificios. Hoy en día, se tiene constancia que el efecto de esta medida sobre un conjunto de edificios con diversos patrones de demanda de energía se puede equiparar al comportamiento de un gran tanque de almacenamiento [34]. También se ha probado que mediante esta solución, la demanda de energía a escala de barrio se puede reducir en un 40% [25]. Diversos estudios han demostrado que, a esa escala, existe un gran potencial sin explotar para el almacenamiento de calor en el parque de la edificación existente. En la actualidad estos efectos se han probado en distintos proyectos piloto (“city district Kvillebäcken”, city district Hyllie in Malmö y en el district Norra Djurgårdsstaden en Estocolmo).

Tal como trataremos más adelante, el impacto de la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación es un punto clave para lograr una demanda flexible cuya capacidad de corrección afecta a aspectos que creemos ganaran importancia de cara al proceso de consolidación de un nuevo escenario energético.

5.5. Algunas consideraciones sobre el efecto del aprovechamiento de la energía térmica generada por la oferta “altamente eficiente”.

En el enfoque del proceso de acoplamiento energético, el factor eléctrico es el principal responsable del impacto ambiental, debido a que es el producto de más alta calidad. Si

definimos ζ como la cantidad de energía útil contenida en un producto, Menard (1998), podemos decir que la cantidad de energía útil de electricidad es equivalente a su energía:

$$\zeta_{\text{electricidad}} = 1$$

En contraste, la energía térmica se define mediante el factor de Carnot multiplicado por el calor de la energía (este factor depende tanto de la temperatura interior de los espacios como del medio ambiente), es decir:

$$\zeta_{\text{heat}} = 1 - \frac{T_{\text{ambient}}}{(T_{\text{sup ply}} - T_{\text{return}}) / (\ln(T_{\text{sup ply}} / T_{\text{return}}))}$$

De la fórmula anterior se deduce que:

$$\zeta_{\text{heat}} < 1$$

Es decir:

$$\zeta_{\text{electricidad}} > \zeta_{\text{heat}}$$

Por lo tanto, 1 kWh_e tiene una mayor calidad que 1 kWh_t de energía térmica de baja temperatura, lo cual implica que su contribución al impacto global del proceso de generación sea mayor.

La energía eléctrica se genera in situ mediante recursos de energía distribuida, estableciendo la posibilidad de lograr una reducción considerable de la demanda de energía final asociada a la edificación. Sin embargo, permanece el reto de encontrar siempre una demanda para los residuos de energía térmica producidos por la generación de energía de alta calidad cuando se trata de apurar la eficiencia del sistema.

Por lo tanto, no debemos descuidar en esta discusión que también el flujo de pérdidas de energía juega un papel relevante a la hora de incrementar la eficiencia global en el ajuste entre la oferta y la demanda.

Tal y como lo veremos a continuación, la escala de edificio individual pone en evidencia el escaso potencial de eficiencia, en gran medida debido a que no es posible encontrar un uso adecuado a los residuos de calor producidos por la oferta energética altamente eficiente a escala de micro nivel.

No obstante, dentro de los límites del barrio urbano, no solo es viable proporcionar un uso adecuado a esta energía de bajo valor energético, sino que también es factible investigar más a fondo el potencial de aprovechamiento de residuos de calor de otros procesos intensivos de

energía, como las aguas superficiales y subterráneas, plantas de tratamiento de aguas residuales, residuos urbanos e industriales, etc. y minimizar así la disipación irreversible.

En cualquier caso, y si partimos del escenario energético actual, el aprovechamiento de dichos residuos o la mejor integración de fuentes de energía renovable dispersas implica -como ya se ha dicho- la integración de sistemas de suministro y distribución de energía eficientes a nivel de barrio, es decir, DH, DH&C o CHP.

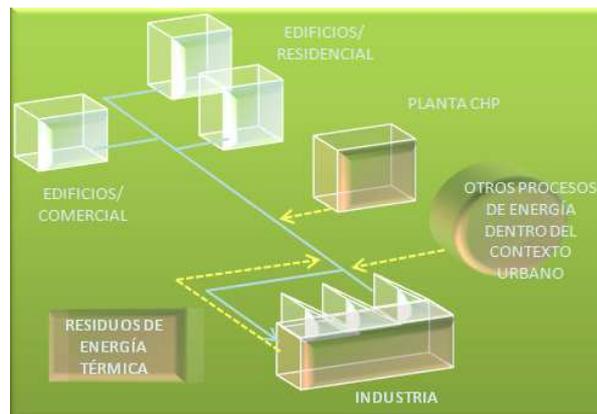


Figura 5.1. Integración de Fuentes de energía del entorno local, como las fuentes de energía renovable, los residuos de energía de baja temperatura, la energía geotérmica, las aguas superficiales y subterráneas, así como otros procesos que pueden investigarse más a fondo dentro de los límites del barrio urbano, requieren actualmente de sistemas de suministro altamente eficientes nivel de comunidad, como DH o DH&C, CHP. Sin embargo, solo la reestructuración del sistema de energía y una considerable reducción de la demanda, permitiría un mayor incremento de RES y limitará el uso de sistemas de CHP.

Encontrar un uso para la energía térmica residual aumenta la eficiencia de la conversión hasta un 80-90%. Por lo tanto, serán mayores los beneficios en cuanto a la capacidad de reducción de emisiones de CO₂ por kWh_e generado en la medida en que se logre la minimización de las pérdidas de energía, la reducción de los cambios repentinos y picos de demanda para poder articular un perfil de demanda que asegure la óptima variabilidad temporal a lo largo del año para acoplarse a la oferta.

De este modo, especialmente la evaluación del potencial de reutilizar los residuos de energía térmica requiere de una detallada descripción de la relación óptima entre oferta eléctrica y térmica y la capacidad de ajuste con los niveles de demanda global de energía.

En la actualidad se llevan a cabo numerosos proyectos piloto que muestran el potencial de uso de los residuos de calor como fuentes de energía Piller (2004) y enfoques como los de Girardin, (2008), parecen prometedores para modelar aspectos energéticos específicos de esta descripción. Dichos aspectos incluyen la definición de diferentes niveles de temperatura de

diferentes procesos de energía y su clasificación de acuerdo al potencial de uso en el área de barrios urbanos, para evitar las pérdidas de energía.

Por lo tanto, es importante encontrar un uso adecuado para la energía térmica residual y lograr un uso eficiente de los flujos de energía. La regulación del momento y localización en la que esta energía puede ser adecuadamente aprovechada puede reconocerse como un aspecto clave para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos energéticos de este nivel.

Hasta aquí hemos discutido sobre cómo el acoplamiento entre la oferta y la demanda se puede lograr minimizando la integral de su diferencia a lo largo del periodo considerado

$$A = \int_0^{24} |f| \cdot dt$$

Sin embargo, la necesidad de articular la relación del parámetro E/Q a las fluctuaciones temporales de la oferta y demanda de energía eléctrica y térmica, se convierte en uno de los principales objetivos. Mediremos el acoplamiento de E/Q de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$A' = \int_0^T \left| \Delta \left(\frac{E}{Q} \right) \right| \cdot dt$$

Siendo Δ la diferencia entre la oferta y la demanda de energía eléctrica y térmica.

En secciones anteriores mencionamos como las herramientas de la oferta tienen que evaluarse de acuerdo con los distintos parámetros que conforman su estructura: Flexibilidad/rigidez así como el Carácter estocástico/determinista. Para una escala espacial y temporal dada, este último calibra el nivel de incertidumbre de los patrones de la oferta y demanda de energía eléctrica y térmica. Mientras que el primero mide la capacidad de su acoplamiento.

Como ya hemos mencionado, si tomamos como referencia el edificio único y el periodo temporal anual, casi todas las fuentes de energía eléctrica y/o térmica tradicionales se ubican dentro del cuadrante II (máxima rigidez, patrón muy determinista). No obstante, es necesario distinguir cómo las diversas funciones de los sistemas altamente eficientes actualmente disponibles, con posibilidades de modulación de la producción de energía, se localizan en su mayoría dentro del cuadrante I (flexible, determinista). Es por lo tanto, en este cuadrante donde se sitúa en la actualidad el mayor potencial de integración de RES.

Sin embargo, la demanda de energía eléctrica y térmica a escala de edificio único, se caracteriza por una flexibilidad limitada y una gran incertidumbre en su estimación debido a las componentes estocásticas que definen su disposición en este periodo de tiempo.

Con la ampliación de la escala, las componentes estocásticas independientes que definen la estructura de la demanda de energía eléctrica y térmica de los edificios, se agregan y las variaciones temporales suelen suavizarse y aproximarse a una distribución estadística conocida como la distribución log-normal. Este efecto distributivo permite una predicción más

fiable y menos incierta de la demanda. Por lo tanto la escala de barrio es adecuada para reducir la incertidumbre inherente de la valoración de energía en edificios únicos.

En un gran conjunto de edificios, la flexibilidad de la demanda se distribuye entre distintos edificios, funciones urbanas y también agrega más demandas que las de la edificación, lo que indica que el porcentaje de la demanda que puede moverse o desplazarse en el tiempo es mayor. Lo anterior evidencia que el mayor problema del acoplamiento óptimo entre la oferta y demanda, se debe a la flexibilidad y el determinismo.

De este modo, la estructura actual del mercado eléctrico pone de manifiesto que el acoplamiento entre las distintas escalas de la oferta (kW_e) y las del actual sector de la edificación, se localiza dentro de los límites del barrio.

Bajo estas condiciones, el aprovechamiento de calor está condicionado por la diversidad de las áreas urbanas y su efecto sobre parámetros como las distancias de distribución. Los residuos de calor que se generan pueden ser útiles para demandas como, por ejemplo, centros de alta tecnología (centros de datos, laboratorios, institutos de biotecnología, etc.). Dicho calor, puede ir en cascada, desde la temperatura de generación (alrededor de $100^{\circ}C$) hasta temperaturas progresivamente menores, como los $65^{\circ}C$ útiles para ACS, y así sucesivamente alcanzar los $20^{\circ}C$ útiles para la calefacción.

Como ya se ha mencionado, el objetivo de acoplar el valor del parámetro $A' \rightarrow \phi$ es útil en la optimización de los mecanismos de transferencia dentro de la compleja cadena de energía a esta escala (desde la generación hasta la envolvente térmica de los edificios). Por lo tanto, es fundamental en los aspectos relacionados con la búsqueda de soluciones y el gasto evitable de los recursos de energía primaria.

El acoplamiento a escala de barrio supone una relación específica de E y Q, cuyos rangos de variación deben ser resueltos. La cuestión es ¿Cómo reducir los desajustes entre la energía eléctrica y térmica de la oferta y la demanda? ¿Cómo articular una E/Q óptima en cada momento? ¿Sobre qué periodo de tiempo hay que actuar para asegurar la máxima eficiencia de la oferta frente a la variabilidad temporal de la demanda? hora, día, semana, mes, año? ¿Hora, día, semana, mes, año?

La respuesta a estos rangos de variación podría obtenerse ajustando desde la eficiencia hasta el tamaño. Dicho ajuste, ¿Se podría lograr articulando Q desde la demanda mediante un ajuste de su aislamiento térmico y de las capacidades de almacenamiento de energía térmica en los propios materiales que configuran la edificación? ¿O bien agregando materiales de cambio de fase en los edificios para extender esta capacidad? ¿O quizá desde la oferta a través de

potenciales de almacenamiento estacional? Probablemente cada una de esas estrategias trabaja a diferentes rangos temporales y pueden complementarse.

¿La opción es reducir Q desde la demanda solo mediante mejoras en la eficiencia de los edificios o de un conjunto de edificios? ¿O se podría también llevar a cabo la carga de baterías de vehículos eléctricos durante los periodos de menor demanda para suavizar la curva de la demanda? ¿Puede ser admisible -en un momento dado- usar energía eléctrica para calefactar si ello produce una mejora global de la eficiencia de la oferta? ¿Hasta qué punto se pueden articular diferentes opciones en cada momento para ajustar la demanda a una relación E/Q constante para sacar la máxima eficiencia de la oferta energética medida en emisiones de CO_2/kWh_e ?

Obviamente el ajuste se puede lograr también articulando Q desde la oferta mediante la búsqueda de fuentes de energía (por ej. la energía solar fotovoltaica, la producción combinada de energía eléctrica y térmica junto con una bomba de calor geotérmica (GSHP), colectores solares y almacenamiento de energía térmica (TES), etc., adecuadas para resolver el desacoplamiento, o quizá mediante la integración directa de fuentes de energía renovable, modificando la pendiente de aprovechamiento solar a fin de solucionar el desacoplamiento estacional. Naturalmente, en cada caso la oferta debe estar ajustada a la configuración concreta de la demanda en cada caso, y a su flexibilidad para modificar su relación E/Q dentro del ámbito de potencia concreto.

En cualquier caso, la optimización debe dirigirse hacia una ratio emisiones de CO_2/kWh_e lo más reducida posible -tendente a cero- con la más rápida amortización de las inversiones implicadas en la oferta y a sus costes de operación y mantenimiento, y todo ello proporcionando, huelga decirlo, unas condiciones de servicio socialmente aceptables.

Obviamente, esa optimización requiere de un marco institucional que asegure que la implantación de los nuevos modelos de oferta y de los nuevos modelos de demanda se adecúe a otras exigencias y modelos en el objetivo de conseguir aquella optimización.

Si consideramos el ejemplo de la estructura de nuestro actual sistema de energía centralizado, las soluciones “óptimas” pueden tener un impacto muy crítico en un panorama social y energético más amplio. Por eso creemos que es de interés mencionar en detalle algunos ejemplos.

Un caso de acoplamiento “óptimo”, bajo el enfoque actual, queda demostrado en un artículo de José Manuel Naredo [54], en el que se evidencia cuáles son los beneficios reales de los embalses y trasvases del Ebro contenidos en el plan hidrológico nacional del año 2000. El plan del año 2000 se apoya en una noción de “recursos excedentarios” para justificar las grandes

operaciones de trasvase forzadas, manteniendo la idea de que esto resolvería el problema de calidad y accesibilidad del agua.

El autor crítica la justificación del trasvase argumentando que:

“Desde el punto de vista de la cantidad, el trasvase carece de sentido a no ser que se llene de embalses toda la cuenca para aumentar su capacidad de retención regulando todavía más su tradicional irregularidad estacional e interanual. Por lo que los numerosos embalses previstos son una exigencia del propio trasvase”.

Además, Naredo evidencia como el mayor conflicto del trasvase se relaciona a la calidad del agua, tanto en posición o cota como en la composición química:

El caso de la salinidad es particularmente complejo, ya que requiere procesos de desalación muy costosos. El elevado contenido en sales constituye así el dato de calidad más problemático en el que cabe profundizar ya que socava la razón de ser del propio trasvase. [...]

La calidad natural del agua viene dada por su cota sobre el nivel del mar, y que resulta muy importante a la hora de justificar un trasvase, al posibilitar que el agua se desplace por gravedad hasta el punto de destino sin incurrir en costes de impulsión adicionales. La calidad que otorga la posición del agua a trasvasar es casi nula. Por lo que el trasvase proyectado es un trasvase cuesta arriba, con el agravante de que el territorio no acostumbra a ser llano y el agua de mala calidad a transportar tiene que moverse a fuerza de bombeos por la irregular topografía hispana, hasta alcanzar, atravesando cuencas y subiendo motores, los puntos finales de destino”.

En la siguiente figura (1) el autor muestra el perfil topográfico del trasvase, que sube a 600 m sobre el nivel del mar, para luego descender hacia las zonas finales de destino, a más de 800 kilómetros del punto de partida, a lo que al respecto, advierte

“ En el trasvase proyectado se tiene previsto turbinar el agua en las cuestas abajo, para obtener electricidad, recuperar así los costes de los bombeos con una eficiencia y una rentabilidad sin precedentes”

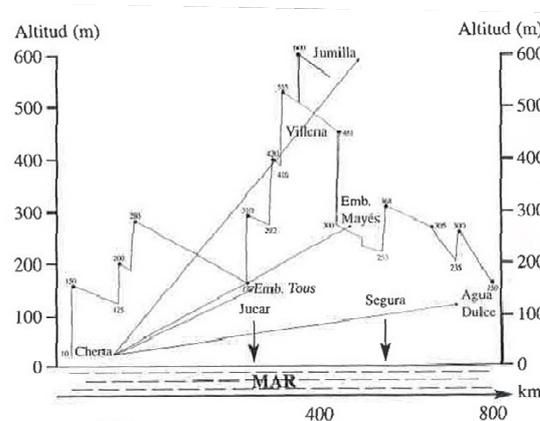


Figura 1: Perfil del Trasvase del Ebro.PHN 2000. Fuente: Naredo (2003) “: La encrucijada de la gestión del agua en España.

Dado que aparentemente no existe una justificación hidráulica real para los trasvases del Ebro, se ha tenido que defender técnicamente construyendo previamente una macro demanda que le otorgase escala y sentido. ¿Cuáles son entonces los beneficios reales del proyecto? ¿Quiénes son los que verdaderamente se ven favorecidos?

Para la empresa eléctrica concesionaria el trasvase proyectado supone un doble beneficio, ya que vende las enormes cantidades de energía eléctrica que son necesarias para el bombeo de agua, y a la vez, almacena importantes volúmenes de agua a cotas elevadas, garantizando así más capacidad de generación en horas pico

Para optimizar aún más los beneficios, los ciclos del trasvase, tanto diarios como estacionales, se han modelado a los ciclos de la demanda eléctrica, que es, en su mayoría es del tipo urbano-turístico. Por ejemplo, a escala diaria los bombeos se accionan en periodos de baja demanda (es decir, por la noche). De esta forma, los excedentes de la energía base (nuclear) son completamente aprovechados. Lo mismo vale a escala temporal estacional. En verano, cuando hay una elevada demanda eléctrica, el transvase funciona bajo mínimos para así no interferir con la ajustada potencia eléctrica requerida durante la temporada alta. En invierno, cuando la demanda eléctrica es débil, el transvase se encarga de utilizar los excedentes. Además, los volúmenes bombeados en invierno se pueden turbinar en verano para así compensar posibles déficits.

Otro ejemplo del enfoque actual de estas soluciones “óptimas” es el nuevo sistema de tarifas eléctricas que discrimina el coste por horas. Las fuentes oficiales del Ministerio de Industria señalan que el nuevo modelo de facturación permitirá a los consumidores desarrollar una pauta de comportamiento más eficiente, lo que se traducirá en un “ahorro final en la factura”. Sin embargo, dichas fuentes no precisan cálculos cuantitativos al considerar “difícil de estimar por depender de muchos factores”.

Las mismas fuentes indican que esta medida ampliará el acceso a los contadores “inteligentes” (tal y como el plan fijado por la industria obliga a las eléctricas), para que los consumidores sean capaces de acceder a una información dinámica y adecuar su uso energético a las horas en las que el coste de la energía sea más barato.

Un informe reciente de la Comisión Nacional de los Mercados y de la Competencia (CNMC) eleva a 10,2 millones el número de dispositivos que a finales de 2014 estaban en condiciones de suministrar a las eléctricas el consumo hora a hora de un cliente, esto equivalente a un 36% del total. Estos deben hoy acogerse a la llamada tarifa regulada “Precio Voluntario del Pequeño Consumidor” (PVPC) para tener la factura hora a hora.

Lo anterior implica que el nuevo contador “inteligente” será el gran epicentro sobre el cual girará el sistema de facturas horarias. No obstante quedan dudas sobre su coste y su efectivo funcionamiento. Vamos a desglosar a continuación dichas dudas que nos hacen creer que la medida se basa sobre un planteamiento contradictorio.

La Comisión, denuncia que las eléctricas ya han comenzado a cobrar su alquiler -de 0,98 euros al mes- donde lo han instalado, sin que de momento haya comenzado a funcionar. Por otra parte, la asociación de consumidores Facua denuncia que estos contadores permitirían conocer el estado de ocupación de una vivienda, según su consumo de energía. Las propias eléctricas reconocen que los aparatos pueden estar al alcance de personas ajenas al edificio.

Además de los problemas relacionados con el tema de la privacidad, estos dispositivos no operan correctamente a gran escala debido a la complejidad en la manipulación de grandes cantidades de datos [56].

Fuentes oficiales explican que los contadores “inteligentes” son necesarios para los objetivos de las funciones de una red inteligente y conseguir mejorar la integración de las energías renovables. Sin embargo, la verdadera motivación de la lectura de los contadores a distancia tiene que buscarse más en el afán de reducir costes laborables y de facturación que en el intento genuino de mejorar el ajuste entre oferta y demanda.

También a nivel internacional, parece haber un énfasis excesivo sobre las funciones y beneficios de los contadores “inteligentes”. Incluso se ha llegado a asumir incuestionablemente que un contador inteligente es una parte vital de una red inteligente. Tal suposición pare ser habitual incluso en un documento clave en el ámbito de la privacidad de datos de redes inteligentes como The Information and Privacy Commissioner of Ontario [55].

Sin embargo, lo que casi siempre se asume o se alude, pero que en realidad nunca se aclara es, cómo hacer la lectura de los contadores. Nunca se ha demostrado cómo la especificidad de los datos del contador de una vivienda pueda, desde un enfoque centralizado, micro gestionar una vasta red “inteligente”.

Lo que se necesita no es, por lo tanto, el seguimiento de los datos de los contadores que salen de los inmuebles y se suben directamente a la empresa (que puede o no, proporcionar en otros intervalos de tiempo, esta información a sus clientes). En todo caso, tendría que exigirse el consumo real de la red, los datos que fluyen en los inmuebles de manera que desde los propios edificios se pudiese controlar el uso de la energía en tiempo real. Por no hablar de otras soluciones más ventajosas relacionadas con la reconsideración de la eficiencia y con las consiguientes posibilidades de ahorros de energía

La otra razón por la que esta medida tiene un enfoque erróneo, es estructural, es decir, relacionado con un planteamiento centralizado y una mala dirección de los recursos y beneficios. Este enfoque se basa en el uso de la red para aplanar la curva de demanda, limitar la activación de plantas especiales que suministran a picos de demanda y limitar también la necesidad de paradas de la energía base. Sin embargo, todo esto hace que el sistema sea aún más dependiente de la energía base.

Por lo tanto el enfoque de esta solución no tendrá efectivos beneficios en termino de reducción de emisiones de CO₂, ni en reducción de las facturas. Esto porqué precisamente la energía base es la generación de energía más cara que hay, si se tienen en cuenta los impactos y los costes externalizados de la energía. Bajo esta perspectiva, esta medida no solo desviaría los recursos financieros, sino también las políticas regulatorias, y la innovación tecnológica.

Existen otros ejemplos, como la promoción del vehículo eléctrico o el llamado ‘impuesto al sol’ que grava las instalaciones solares particulares, pero estas medidas “óptimas” demuestran que el viejo paradigma del control centralizado requiere un marco institucional que le permita mantenerse económicamente eficiente aún a costa de externalizar costes sociales y ambientales.

La optimización de la gestión de la demanda local, el acoplamiento con una oferta que integre fuentes de energía renovable, necesita tener limitaciones sociales provenientes de otros campos que determinen cuáles son las tecnologías y cuáles son las estrategias más adecuadas para dirigir esa optimización sin generar externalizaciones, como hace el actual sistema energético en su interés por pervivir.

Identificación de Estrategias

Las numerosas medidas de actuación, que se han llevado a cabo para incrementar los niveles de eficiencia se han basado en la escala micro (vivienda unifamiliar/plurifamiliar), lo que ha supuesto enormes pérdidas de eficiencia respecto a otras posibilidades de acoplamiento.

Mientras el planteamiento de estrategias de eficiencia energética en la edificación continúe estableciéndose a esta escala de micro nivel, el escenario energético seguirá un proceso ineficiente de acoplamiento, visualizándose de la siguiente manera:

Los combustibles fósiles, encabezados por el gas natural, continuaran abriéndose camino paralelamente al incremento de eficiencia mediante la introducción generalizada de sistemas de cogeneración de escala micro. La intermitencia temporal de los flujos de energía térmica y la necesidad de interacción con la red eléctrica urbana, reforzará la dependencia de los combustibles fósiles [6, 7, 14].

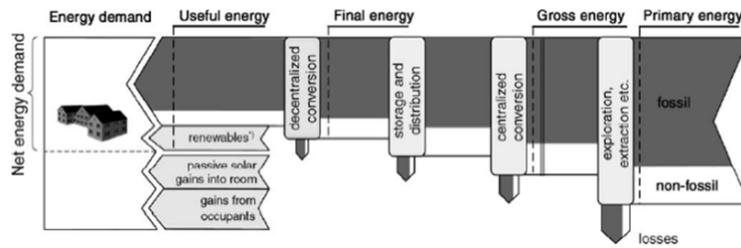


Figura 5.2. El gas natural es el combustible preferido de estas estructuras a escala Micro. Más del 80% de las emisiones de CO₂ generada por estos sistemas proceden de su combustión. El resto de las emisiones se generan por el suministro y transporte del gas natural (perdidas energéticas a lo largo de la trayectoria de producción).

Los sistemas de escala micro “altamente eficientes” se caracterizan por una flexibilidad limitada, por lo que, considerando el modelo de demanda actual, el proceso de acoplamiento a dichos sistemas únicamente permite satisfacer entre el 10 y 40% de la demanda de electricidad y entre un 30 hasta el 100% de la demanda térmica. [12].

Para cubrir los picos de demanda, y como se esquematiza en la siguiente gráfica, es necesario recurrir a sistemas de apoyo tradicionales. Además, hay que considerar la necesidad de inyectar el excedente de energía eléctrica a la red para que estas instalaciones funcionen adecuadamente.

Estas condiciones establecen un considerable impacto asociado al escenario energético de los sistemas a escala micro. Impacto que se traduce en un escaso ahorro de la fracción primaria respecto a la situación base, alcanzando un bajo porcentaje que está en un rango del 17 al 45%, pronosticando una reducción de emisiones de de tan solo el 20%.

Si partimos del escenario energético actual a escala de micro nivel (vivienda unifamiliar y edificio plurifamiliar), donde predominan los combustibles fósiles, los nuevos enfoques, como los sistemas District Heating [24] que soportan esquemas de suministro a nivel comunitario, representan una poderosa herramienta para la reducción de las emisiones de CO₂ [$kg\ CO_2 / KWh.$]

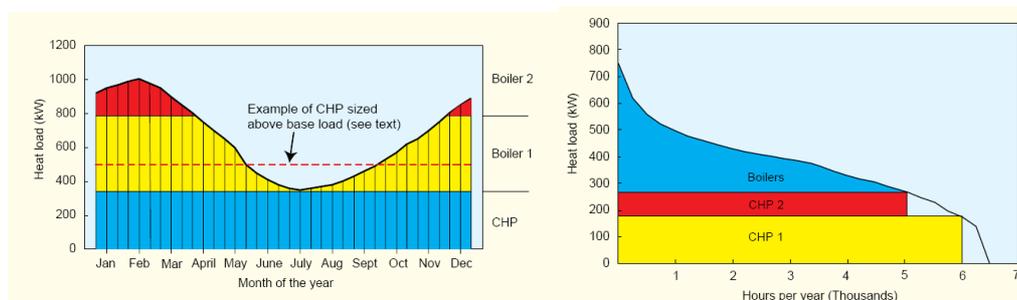


Figura 5.3. Integrating a CHP unit with boiler plant. 2. Typical load duration curve. Perfil de demanda térmica. Las redes de gas natural y calderas individuales provocan importantes pérdidas energéticas y de rendimiento. Fuente: small-scale combined heat and power for buildings . Guide 176.

No obstante, periodos de baja demanda de energía térmica pueden reducir el potencial global de los sistemas comunitarios, dando lugar a importantes pérdidas de calor en el periodo anual completo [15, 20].

Los sistemas de trigeneración (district heating and cooling), como una aplicación de la cogeneración, aprovechan al máximo la energía generada durante el verano, reduciendo esta disipación de calor [22]. Sin embargo, aunque dichos sistemas presentan una gran variedad de alternativas de conformación de escenarios, que van desde el bloque de viviendas hasta un nivel considerado de un conjunto de 2500 viviendas, solo alcanzan un nivel óptimo de rendimiento cuando los niveles de la demanda de energía térmica son elevados.

Para establecer los verdaderos beneficios de los escenarios energéticos basados en sistemas comunitarios de alta eficiencia, cuya relación E/Q tiende a valores próximos a la unidad (comparados con valores de 0.3 y 0.5 de una vivienda o edificio plurifamiliar), deberán evitarse aspectos fundamentales como:

- el sobredimensionamiento del sistema que produzca excesivas pérdidas de energía térmica.
- la generación de una proporción relativamente grande de electricidad, que podría representar un rango de entre 44 y 75%, dependiendo de la demanda de energía térmica y eléctrica en la edificación [13].

A fin de evitar que el ahorro de emisiones de la implementación de estos sistemas se vea reducido, se han generado diversas soluciones que pueden ser aplicadas a nivel de comunidad de barrio, distrito ó municipio. Dichas soluciones, posibilitan estrategias a nivel de generación local, distribución y almacenamiento [15- 18, 21], debido a que es en esta cadena donde se producen las mayores pérdidas de energía térmica y, por lo tanto, donde se encuentra el mayor potencial de mejora. Estas medidas pueden hacer posible la acotación de la escala (kW_e) y restablecer la adecuada variabilidad de la relación del parámetro E/Q de la oferta energética.

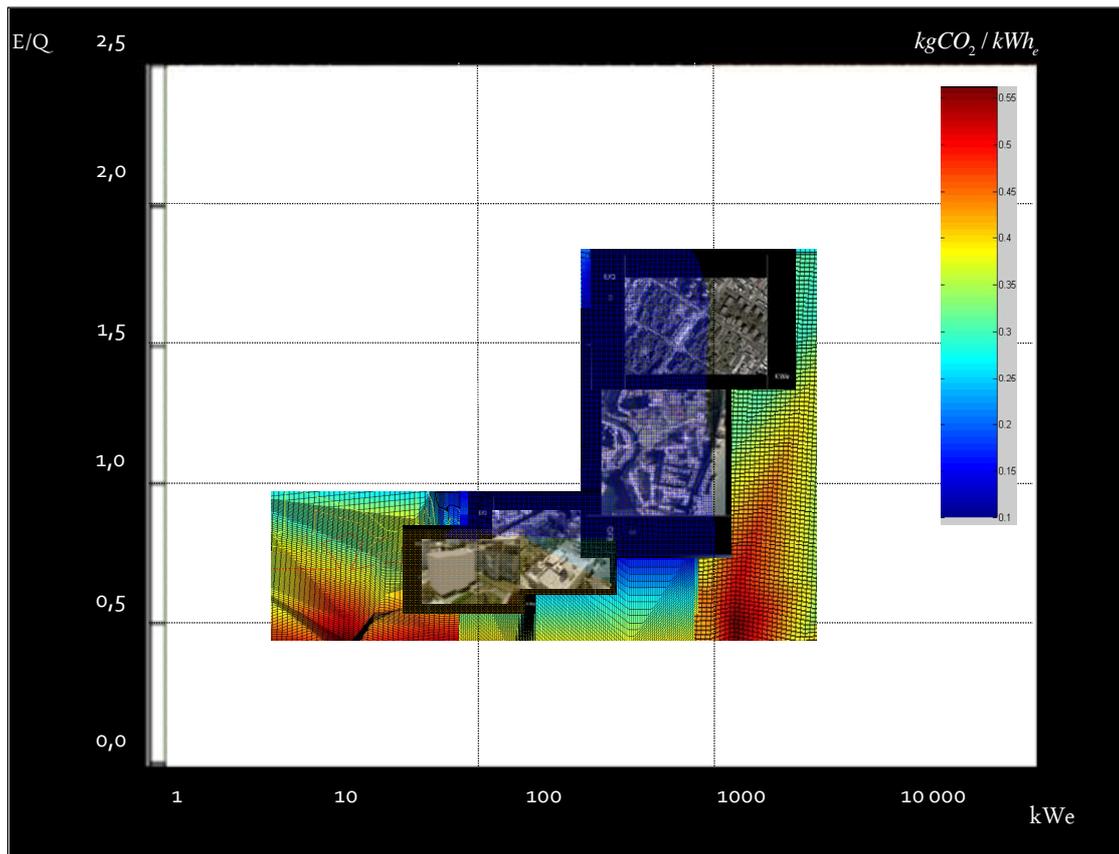


Figura 5.3. La figura muestra un gráfico del potencial de reducción de emisiones de $\text{kgCO}_2/\text{kWh}_e$ de los escenarios energéticos, tomando en cuenta la potencia del sistema kWe y la relación E/Q . A partir de la gráfica, es evidente que para valores más altos de E/Q , así como para escalas del sistema medias, el kg de CO_2 por kWh_e usado en la edificación se reduce, es decir, se aproxima a una escala óptima. Sin embargo, si la escala aumenta de forma importante, la posibilidad de reducción de emisiones vuelve a disminuir, puesto que la eficiencia global del sistema cae debido a las pérdidas térmicas. Obsérvese también que la relación E/Q juega un papel fundamental en la reducción de las emisiones de CO_2 . Los resultados sugieren que el escenario óptimo requiere de la agregación de usos de la edificación y funciones urbanas para asegurar la eficiencia global del sistema. Gráfica de elaboración propia con datos obtenidos de la herramienta de cálculo: “EPA CHP Emissions Calculator”, que determina las emisiones de CO_2 de los sistemas altamente eficientes (disponible en: <http://www.epa.gov/chp/basic/calculator.html>). La gráfica se ha elaborado utilizando el programa científico Octave y los datos se han obtenidos de las siguientes fuentes: [21,60- 68].

"

Pero ello incide sobre la demanda, y se deberá demostrar y justificar, para cada periodo de tiempo (t), las condiciones factibles y adecuadas en las que debe llevarse a cabo el proceso de acoplamiento entre los niveles E/Q “altamente eficiente” y la demanda global.

5.6. Identificación de Estrategias de Acoplamiento en la Edificación

La transición del escenario energético actual, centralizado, hacia esquemas de organización a escala de la eficiencia en la edificación, supone importantes implicaciones para el actual modelo de demanda. Un escenario energético dominado por una oferta energética de naturaleza fluctuante, intermitente e impredecible basado en fuentes de energía renovable (RES) y distintas funciones de los sistemas altamente eficientes (CHP, DH, DH&C), comporta una considerable variabilidad temporal de los niveles E/Q de esta oferta energética, ya sea por condiciones climatológicas o porque esté determinado por el patrón de demanda térmica (Q). [9, 10, 23].

De acuerdo con la caracterización de la oferta energética actualmente disponible, para poder alcanzar un modelo de demanda flexible, es necesario disminuir la considerable variabilidad temporal de la relación E/Q que caracteriza al actual escenario energético de la edificación y que ha supuesto enormes pérdidas de eficiencia para el sector.

La adecuada variabilidad temporal de la relación E/Q incrementa la eficiencia global, reduce el consumo de combustible, y mejora el resultado en emisiones de CO₂ por kWh_e generado.

La capacidad de modificar la variabilidad temporal de la relación E/Q y hacer frente a los factores que provocan los desfases en los procesos eficientes de acoplamiento, es una característica que está estrechamente ligada con la dimensión de escala de los modelos de demanda. Por tal motivo, deberá identificarse dicha capacidad como un importante reto en la rehabilitación del escenario energético del sector.

La adecuación de la escala de los modelos de demanda, adquiere un rol activo determinante para poder hacer frente a los factores que pueden provocar los posibles desfases en los procesos eficientes de acoplamiento energético.

De este modo, el máximo aprovechamiento de los flujos energéticos y el incremento de la flexibilidad se convierten en aspectos primordiales. Por lo tanto, deberán reconocerse como estrategias fundamentales de optimización, la creación de conceptos innovadores de control y gestión a nivel colectivo y la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación, este último factor, determinante en su conjunto.

5.6.1 Capacidad de Almacenamiento de Energía Térmica en la Edificación.

El factor de almacenamiento distribuido se introduce como consecuencia del concepto de generación distribuida de la actual oferta energética. Esta medida puede contrarrestar el

desacoplamiento con la oferta de energía de naturaleza fluctuante e intermitente $[of_{kwhc}(t)]$ y, en concreto, puede hacer frente a la falta de coincidencia simultánea entre la demanda de energía eléctrica y térmica del sector de la edificación.

Actualmente existen diversas alternativas de almacenamiento de energía, muchas de ellas poco eficientes, que implican importantes pérdidas de energía y cuyos altos costos las hacen prohibitivas en la mayoría de los casos. Este es el caso de la energía eléctrica, que resulta fácil de transportar pero difícil de almacenar. Aunque la evolución tecnológica en ese campo está siendo muy rápida, lo cierto es que conlleva costes ambientales grandes por el uso de materiales sofisticados.

En contraposición, la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación es una condición que cobra importancia, ya que en esta reside la posibilidad de optimizar la demanda para asegurar la eficiencia del escenario energético.

La capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación se convierte por tanto en la fuerza motor detrás de la posibilidad de lograr una transición hacia una demanda $d_{kwhc}(t)$ flexible permitiendo, de este modo, equilibrar las fluctuaciones de las fuentes RES y estabilizar la relación (E/Q) de los sistemas de la oferta energética “altamente eficiente”, que transforman electricidad en otro tipo de energía de bajo valor energético (CHP, DH, DH&C).

El uso efectivo de la masa térmica, que incluye técnicas solares pasivas, modera las fluctuaciones de la temperatura interior, retardando y amortiguando las ondas térmicas causadas por las variaciones de la temperatura exterior. Dicha capacidad es una de las maneras más eficientes de modificar la demanda térmica y de corregir la condición intermitente de la demanda eléctrica, la inconsistencia entre la producción eléctrica y térmica de los sistemas altamente eficientes y los déficits y excedentes de las fuentes de energía renovable. Numerosos estudios y una gran tradición respaldan este potencial.

Un reciente estudio de D.J. Harris [27] incluye una investigación extensiva de la literatura relevante sobre este tema. Kolokotroni [28] evaluó el efecto de la capacidad térmica sobre el ahorro de energía en varios edificios de viviendas. Varios análisis se han centrado en estudiar estrategias de gestión de la capacidad térmica en los edificios a fin de lograr el confort interior y reducir los requerimientos de potencia de energía, [29, 30]. Algunos otros autores han aplicado el principio de la Termodinámica, así como el análisis de energía y exergía para calcular el ahorro de energía empleada para calefacción y refrigeración mediante el uso de la masa térmica del edificio [31]. Strub [3] utilizó la segunda ley de la termodinámica para analizar la transferencia de calor periódica a través de un muro de masa homogénea. Asan [2] utilizó la ecuación de conducción de calor en régimen transitorio y con condiciones de contorno periódicas para investigar los retardos en la propagación de cambios térmicos desde el exterior al interior. Los resultados de este estudio evidencian que el espesor del material es un factor determinante tanto para amortiguar como para retardar las fluctuaciones térmicas. Gregory et al. [6] estudiaron el efecto de la masa en el rendimiento térmico de varios sistemas constructivos en edificios residenciales. Hacker. [7] amplió la investigación al evaluar el

impacto de la masa térmica sobre el resultado en emisiones de dióxido de carbono y medidas para contrarrestar el impacto ambiental. Kalogirou [8] evaluó efecto del uso de la masa térmica sobre la demanda de calefacción y refrigeración en Chipre, mediante la modelación y simulación con el programa TRANSYS. Este autor considera que las variaciones de temperatura diurna en entornos como el de Chipre o de otros países mediterráneos son ideales para la aplicación de la masa térmica. En específico, los resultados de la simulación muestran que hay una reducción de aproximadamente un 47% en la demanda de calefacción, mientras que al mismo tiempo se observa un ligero aumento de la demanda de refrigeración. Análisis sobre la masa térmica y la ventilación nocturna se ha llevado a cabo out [9-11]. Ogoli [12] superviso cuatro cámaras de prueba con diferentes niveles de masa térmica y tipos de cubiertas en Nairobi, Kenya. Recientemente, investigadores del Oak Ridge National Laboratory (ORNL) han desarrollado una nueva medida para el rendimiento térmico dinámico en muros pasivos denominada: Dynamic Benefit for Massive Systems (DBMS). Kosny and Christian [14]. Mitchell y Beckman [32] indican que es posible derivar expresiones analíticamente para determinar los límites del consumo de energía en los edificios. Estos límites establecen el máximo beneficio térmico posible de incluir almacenamiento en la masa del edificio. Este mismo estudio señala que para que esta capacidad tenga un efecto significativo en el consumo de energía, es importante que en la estación fría el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior sea pequeño. Esto significa que tienen que considerarse en combinación la ganancia solar, las ganancias internas y el coeficiente de pérdidas del edificio. Si la diferencia entre estas dos temperaturas es mayor de 9°C, entonces el almacenamiento no tiene un efecto apreciable. Karlssona [33] demuestra que el ahorro de energía es posible bajo ciertas condiciones, por ejemplo, que el edificio este convenientemente dispuesto para acumular energía térmica (ganancia solar) a corto plazo.

Estos estudios demuestran que la capacidad que tiene la masa térmica incorporada en el edificio de conservar energía e ir liberándola progresivamente es una de las maneras más eficientes de influir sobre la demanda de calefacción y refrigeración, lograr el confort térmico y reducir el consumo de energía.

En este ámbito, uno de los temas más debatidos ha sido el efecto de la masa térmica sobre el consumo de energía. Cuando un edificio con elevada masa térmica se compara con una estructura térmicamente ligera, dependiendo de las condiciones de contorno, se pueden apreciar ahorros de energía. La siguiente figura permite ver el posible efecto de la capacidad de calor y la conductividad térmica sobre el ahorro de energía en edificios pesados térmicamente.

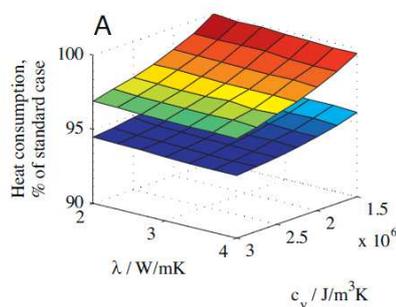


Figura 5.4. Esta figura en tres dimensiones hace posible visualizar el efecto de la capacidad de calor y conductividad térmica sobre el ahorro de energía en edificios térmicamente pesados. Fuente: Karlssona al 2013[33]

Sin embargo, de cara a la transición del escenario energético actual, posiblemente el aspecto más relevante del uso apropiado de la masa térmica son sus efectos sobre el ajuste de la evolución de la demanda y oferta de energía. Esta capacidad puede amortiguar y desplazar la curva de la demanda y al hacer esto posible permite trasladar su posición en el tiempo y corregir su desfase temporal frente a fuentes RES u otras fuentes de energía de naturaleza fluctuante e intermitente.

Este efecto de desplazamiento y amortiguación representa una clara ventaja para poder lograr una demanda flexible, que contribuya a modificar la demanda de la edificación a periodos off_pico, controlar la energía necesaria para el suministro energético y el uso de energía auxiliar u otras formas de acumulación de energía.

A diferencia de una estructura térmicamente ligera, un edificio con una elevada masa térmica y por lo tanto una mayor constante de tiempo τ (valor que se define como la relación entre el coeficiente de pérdida de calor y la capacidad térmica), no necesita que la evolución de la oferta energética sea continua en el tiempo y tampoco requiere de altas potencias (poco deseables ya que tienen que ser cubiertas en gran parte por combustibles fósiles).

La constante de tiempo describe la evolución de la temperatura interior en ausencia de un input de energía térmica. Este parámetro establece el tiempo necesario para que la temperatura interior se equilibre con la exterior, se expresa en horas y puede variar desde unas pocas horas hasta varios cientos de horas.

La constante de tiempo se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$\tau = \frac{C}{H}$$

C Capacidad térmica (J/K);

H Coeficiente de pérdidas de calor en edificio (W/K)

La siguiente figura demuestra como la temperatura de un edificio disminuye cuando se expone a un descenso de temperatura externa de 21°C. La temperatura de un edificio con una baja constante de tiempo disminuirá rápidamente, haciendo el edificio inhabitable en menos de un día. En un edificio con una constante de tiempo elevada este lapso de tiempo puede durar más de 100 horas, es decir, puede ser habitable después de 2 días

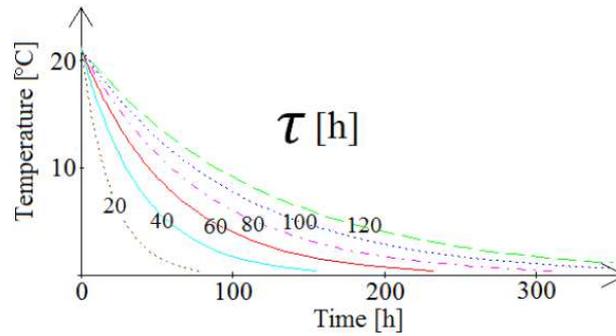


Figura 5.4. La fig , muestra la disminución de la temperatura de diferentes edificios con diferentes constantes de tiempo .

La relación entre la masa térmica y la constante de tiempo es lineal. Por tanto, cuando el edificio tiene una masa térmica elevada, los cambios de temperatura interior debido a fluctuaciones del exterior son mucho más lentos. Una elevada constante de tiempo puede permitir que se produzca un cierto descenso de la temperatura.

Esta es una ventaja significativa ya que la generación de energía en los momentos de máxima demanda es la más intensiva en emisiones de CO₂, (ver la siguiente figura). La siguiente grafica muestra la variación de la generación de energía térmica durante todo el año en el sistema de district heating de Gotemburgo (calor residual: violeta oscuro, blanco y el azul claro ; el magenta son los biocombustibles; el amarillo, verde, etc son los combustibles fósiles).

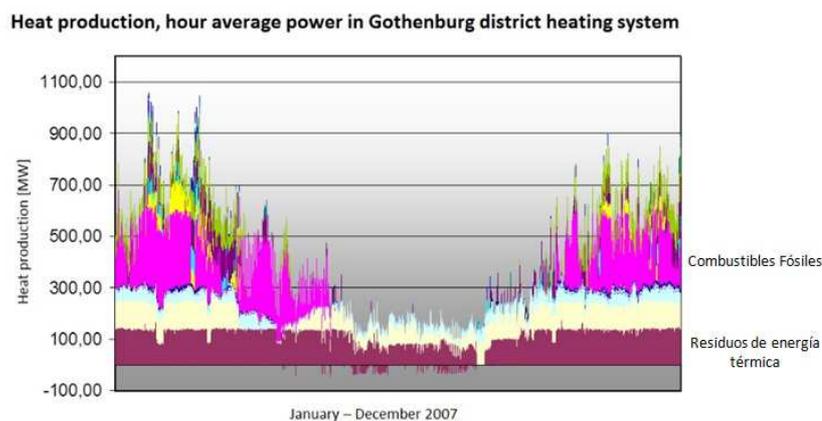
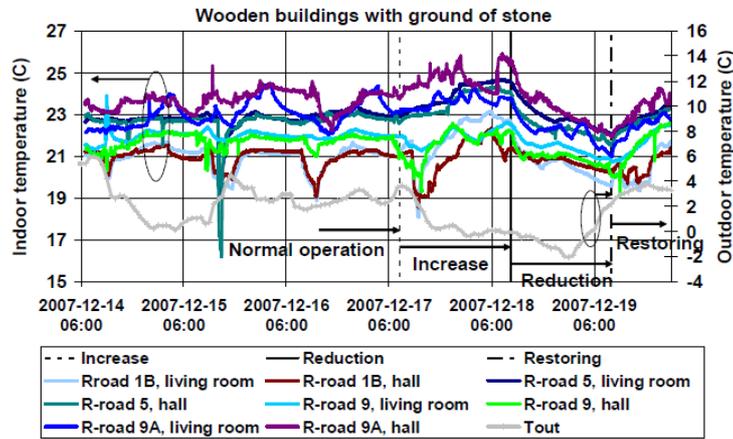


Figura 5.5. Este diagrama muestra diferentes tipos de fuentes de potencia pico. El diagrama muestra el valor promedio de una hora. Fuente: Göteborg Energi <http://www.goteborgenergi.se/>

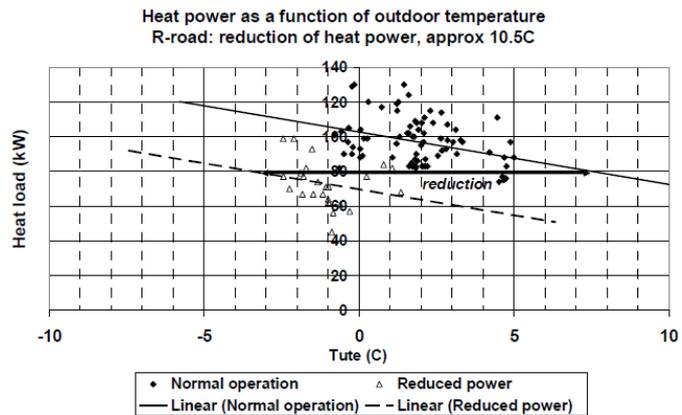
En un reciente estudio [34], cuyo fin era investigar la influencia real de la masa térmica del edificio sobre la temperatura interior y determinar la constante de tiempo del grupo de edificios conectados a este sistema de district heating de Gotemburgo (Suecia), se encontró que la mayoría de los edificios analizados tienen una gran inercia térmica. Los edificios de piedra pueden tener constantes de tiempo de 350 hrs, pero también, las estructuras de madera tienen constantes de tiempo elevadas (alrededor de 100 hrs). Asimismo demostró que en la mayoría de

estos edificios se producen relativamente grandes variaciones de temperatura durante una operación normal, lo cual es positivo desde la perspectiva de lograr el efecto del almacenamiento de energía.



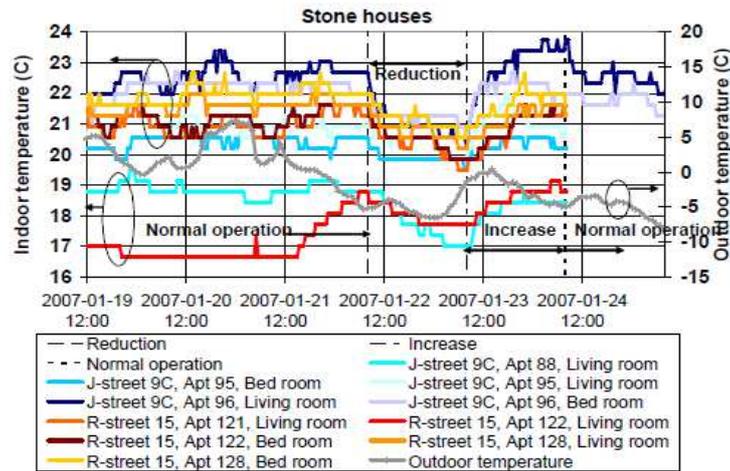
Edificio de madera

a)



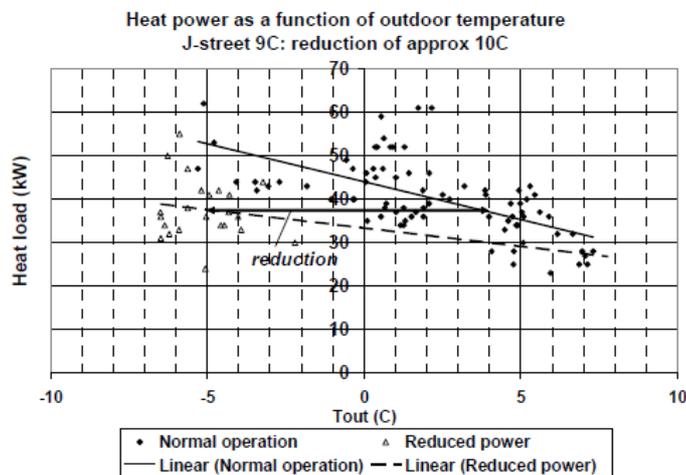
b)

Figura 5.6. La fig a) indica que la temperatura interior se distribuyo de manera desigual en el edificio. Las variaciones de la temperatura interior se encontraron en el orden de magnitud de 2 a 3 oC. La potencia de energía térmica se redujo de acuerdo con la fig b). Se estimó una constante de tiempo del edificio de 102 hrs. La fig a) indica que la temperatura interior difiere entre apartamentos en un rango de: matices rojos 17oC a 22oC y azules 19oC a 24oC. La fig b) muestra la reducción de la potencia de energía térmica. El promedio de la contante de tiempo se estimó en 155 hrs. Fuente: L.C. Olsson Ingvarsonl. S. Werner. Al 2008 [34]



Edificio de piedra

c)



d)

Otro efecto de la capacidad de almacenamiento sobre el ajuste de la evolución temporal de la demanda y oferta de energía es el relacionado con el confort térmico. Pero, como ya se ha mencionado, para que estas mejoras sean posibles se requiere de una capacidad de gestión que tome ventaja de la elevada masa térmica, teniendo en cuenta las necesidades dinámicas del edificio. Es decir, que permita que la temperatura de un edificio fluctúe un poco para que el efecto del almacenamiento tenga lugar.

Evidentemente, el potencial de almacenamiento está condicionado por los límites de confort térmico, puesto que este impone las restricciones de las fluctuaciones de las temperaturas permitidas en el edificio. Aunque el confort térmico es un aspecto importante de los edificios térmicamente pesados, ya que estos puedan reducir el sobrecalentamiento y absorber el excedente de energía (radiación solar).

El uso de la masa térmica de un único edificio sólo establece almacenamiento a corto plazo y no puede contrarrestar el desajuste estacional entre la demanda y la oferta. La siguiente

fig. muestra un caso específico de acoplamiento entre la oferta y la demanda a escala de edificio único y a lo largo de un año.

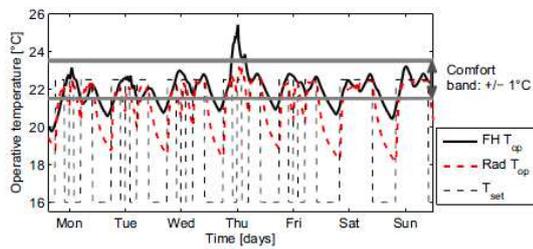


Fig. 4. Comparison between the temperature profile obtained with the floor heating system (FH) and the radiator system (Rad) for typical winter week. The ± 1 °C comfort band for the occupied periods is shown.

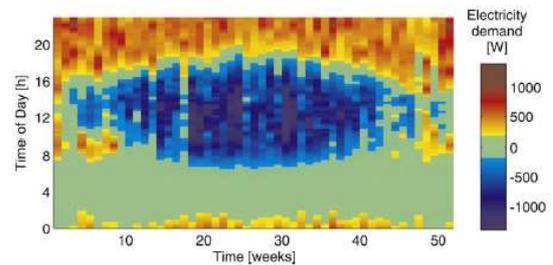


Fig. 5. Net electricity demand ($P_{\text{dom,net}}$) with PV system sized to cover domestic load.

Figura 5.7. La figura muestra la variación del promedio del perfil de demanda diaria durante un año. El perfil se ha promediado para cada semana. Elevados valores negativos se muestran en el verano, entre las 10 y 17 hrs cuando el output de RES es elevado. En contraste, los picos de demanda se concentra en un edificio residencial en la noche. Fuente: G.Reynders, T. Nuytten, D. Saelens al 2013 [35].

Para ajustar la evolución de la demanda y la oferta térmica es posible modular la masa. Esta se puede modificar cambiando o bien el espesor o la densidad del material del cerramiento sin alterar la arquitectura y construcción del edificio [36].

En la literatura se han descrito varios métodos para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía térmica en el edificio. Estos métodos se pueden agrupar en almacenamiento a corto plazo (horas, días) y a largo plazo (estacional, anual) [37, 38, 39, 40]. Por ejemplo, las cargas de calor latente que participan en los procesos de cambio de fase proporcionan a los materiales con esta condición una gran capacidad calorífica, lo que incrementa el potencial de almacenar energía [41].

Para condiciones específicas de operación, estos métodos también pueden combinarse en un único concepto de almacenamiento térmico. Aún cuando para las típicas tecnologías de construcción europeas, esta capacidad comúnmente se asocia a estructuras pesadas, Hoes y M. Trckase [41] han indicado que ningún concepto permanente de la masa térmica es óptimo durante todas las condiciones de operación. Estos autores han propuesto compaginar varios métodos en un concepto de almacenamiento de energía térmica híbrido adaptable para edificios ligeros. Los autores concluyeron que la cantidad óptima de masa térmica es sensible a los cambios de estación, lo que implica que la implementación de masa variable, tiene el potencial de reducir la demanda de energía térmica en un 35% comparado con el concepto masa constante.

La masa efectiva se ha investigado usando un Algoritmo Genético de Clasificación No Dominado II llamado NSGA-II [42]. La optimización del algoritmo modifica la masa térmica del

edificio alterando la densidad de los materiales que están en contacto con el ambiente interior. La densidad necesaria se calcula usando el método efectivo para la masa térmica (en alemán the Spezifiek Werkzame Massa or SWM).

De este modo, el efecto de la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación representa una clara ventaja para lograr una demanda flexible cuya capacidad de corrección afecta el consumo de energía final y el confort térmico. Estos son aspectos que creemos ganaran importancia en el proceso de transformación de la actual estructura de la demanda y oferta de energía

Sin embargo, para lograr la verdadera transición hacia una demanda flexible basada en el potencial de aprovechamiento de esta capacidad, tal como lo hemos enfatizado, la definición de la escala adecuada se vuelve esencial. Controlar la oferta energética potencialmente menos emisiva es un tema complejo que requiere el reconocimiento cuidadoso de factores y condiciones que claramente sobrepasan la escala de edificios únicos y que puedan llegar a interferir en generar una situación óptima en la implementación de dicha estrategia.

Ya se ha demostrado que, a nivel de edificio único, el impacto de la capacidad de almacenamiento de energía térmica se queda corto cuando se describen sus efectos en un conjunto de edificios. Hoy en día, se tiene constancia que esta solución a escala de barrio se pueden equiparar al comportamiento de un gran tanque de almacenamiento [34]. También se ha probado que mediante esta solución, la demanda de energía a escala de barrio se puede reducir en un 40% [25]. Estos efectos se han constatado en distintos proyectos piloto (“city district Kvillebäcken”. city district Hyllie in Malmö y en el district Norra Djurgårdsstaden en Estocolmo).

Por lo tanto, un prerrequisito para lograr un verdadero efecto sobre el ajuste de la evolución de la demanda y oferta de energía, es que estén conectados un conjunto de edificios con diversos patrones de usos de energía.

Diversos estudios han demostrado que, a escala de barrio, existe un gran potencial sin explotar para el almacenamiento de calor en el parque de la edificación existente. La siguiente figura muestra el ejemplo de un modelo numérico que simula el efecto de la capacidad de almacenamiento de energía térmica en un conjunto de edificios con el fin de evitar que la demanda pico supere los 4.5 MW. Los resultados evidencian que en las primeras 600 horas de simulación (es decir, 25 días) todos los picos se amortiguaron de forma considerable.

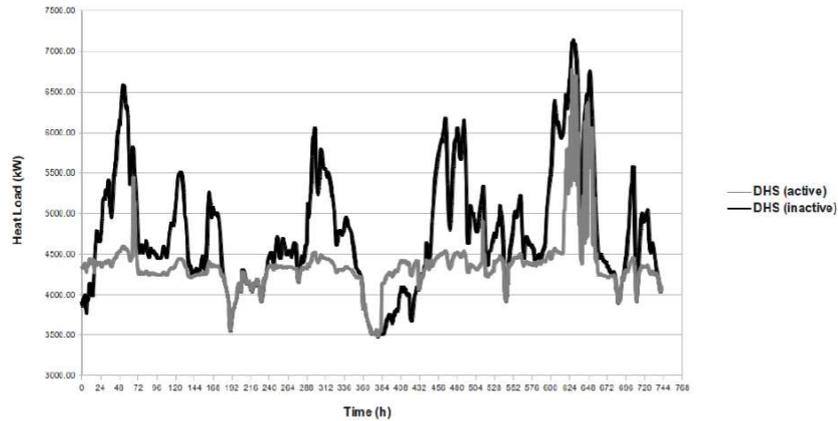


Fig. 4. Comparison between active and inactive distributed heat storage

Figura 5.8. Comparación de la capacidad activa e inactiva de almacenamiento de energía térmica en un conjunto de edificios. Fuente: C. Johansson, F. Wernstedt y P. Davidsson al 2012 [53].

Un estudio teórico elaborado por Andersson y Werner [52] se ha centrado en el sistema de district heating de Gotemburgo (Suecia) con el fin de evaluar las posibilidades de utilizar la masa térmica de los edificios como almacenamiento de energía. Bajo condiciones de contorno específicas y la premisa de no empeorar el confort térmico, la siguiente figura muestra los resultados de los cálculos.

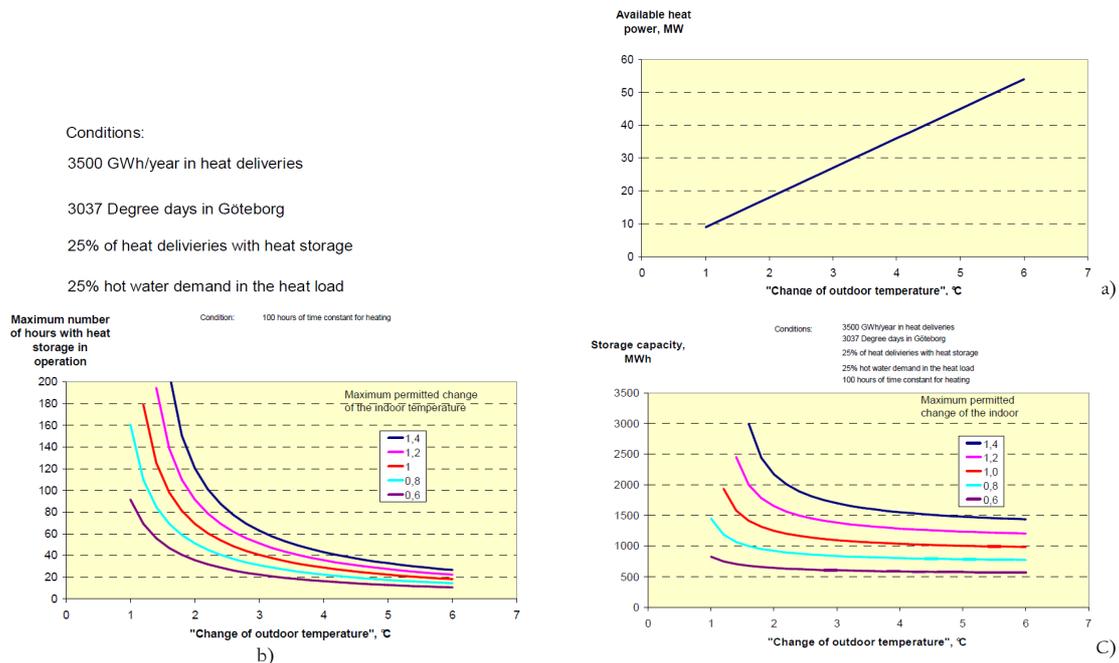


Figura 5.9. Las figuras indican lo siguiente: a) Bajo cambios inducidos en la temperatura exterior de 1 a 6°C, el potencial de energía térmica disponible es de 9-54 MW b) Para diferentes cambios permitidos en la temperatura interior y diferentes cambios inducidos de la temperatura exterior, el tiempo máximo para la descarga del almacenamiento de calor (periodo constante) es de 100 hrs c) Tamaño del almacenamiento de energía térmica para distintos cambios en la temperatura interior y diferentes cambios en la temperatura exterior. Fuente: Andersson, S., Werner, S. al 2006 [52]. ”

Dados los estudios y datos discutidos en este apartado, consideramos que la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación es un tema que ganará aún una mayor relevancia debido a sus efectos sobre los aspectos fundamentales de la definición de la escala de la eficiencia en la edificación.

Naturalmente, la movilización de energía de baja calidad -energía térmica a baja temperatura- no es fácil a escala de barrio, aunque las experiencias en geotermia han permitido desarrollar sistemas técnicos eficientes. Ajustar la inercia térmica a escala de cada edificio para aprovechar la radiación solar directa y las cargas internas ocasionadas por las actividades, con el calor residual de los procesos de generación eléctrica o de otros procesos productivos o consuntivos del barrio, combinándolos con almacenamiento de calor estacional -la geotermia convencional no deja, en el fondo, de ser eso- y con sistemas eficientes que permitan el movilidad necesaria de ese calor para acercarlo a los puntos donde se exige esa demanda, forma parte de uno de los componentes esenciales en las estrategias de acoplamiento entre demanda y oferta. Pero eso exige una gestión colectiva de la demanda.

5. 6.2 Estrategias de Acoplamiento en la Edificación basadas en la Gestión Colectiva de la Demanda mediante la articulación del perfil E/Q.

Haciendo hincapié en la transición hacia un modelo de demanda flexible, a continuación se describe otra estrategia primordial para el escenario energético del sector. Se trata de una solución que se basa en las potencialidades de la transferencia de los flujos de energía para gestionar la demanda mediante la reubicación del perfil E/Q, y hacer posible una elevada penetración de RES y fuentes de energía del entorno local.

Dada la naturaleza transitoria del edificio único, los patrones diarios de ocupación, el cambio estacional, etc., es decir, circunstancias que generan una considerable variabilidad temporal en la relación entre la demanda eléctrica y térmica, esta condición solo es posible en escenarios que superan este nivel.

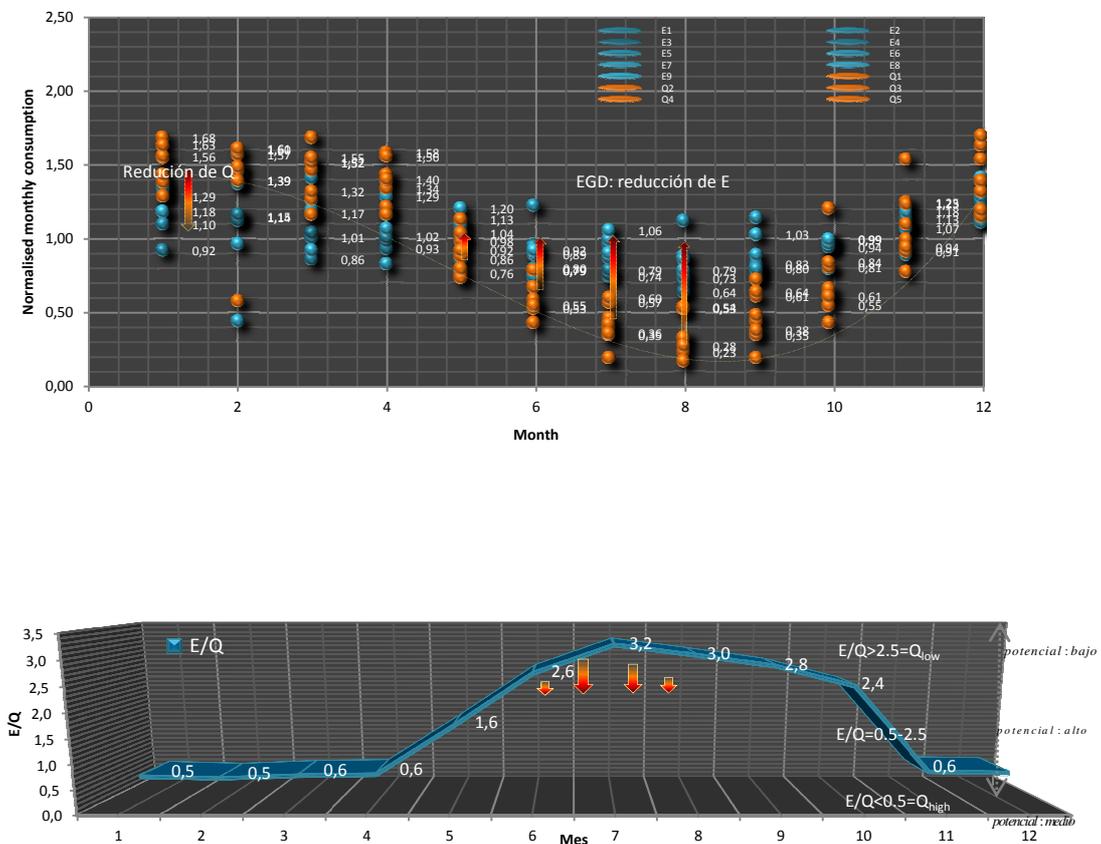


Figura 5.10. a) Ejemplos del Perfil de demanda de energía eléctrica y térmica en distintos casos de edificios de viviendas en el periodo de un año. Nota: datos normalizados. b) Variación temporal de la relación E/Q en un caso a escala de micro nivel en el periodo de un año. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de (Linda Pedersen al. 2007) [21]

[

La capacidad de reubicación temporal del parámetro E/Q es una condición que está ligada con el factor de escala. Es decir, únicamente es factible en escenarios cuyas características específicas de densidad, enlace entre distintas funciones urbanas, diversidad de patrones de demanda de energía eléctrica y térmica, características temporales y de proximidad entre funciones, permiten coordinar la adecuada variabilidad de dicho parámetro.

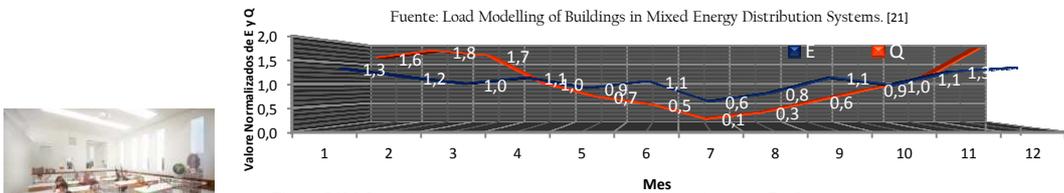


Figura 5.10.1. La gráfica muestra la variación de los valores normalizados de E y Q de una muestra de escuelas en el

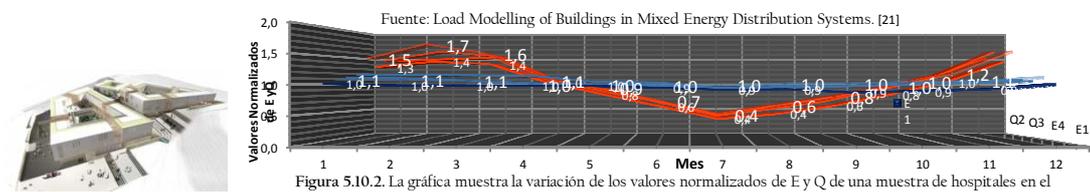


Figura 5.10.2. La gráfica muestra la variación de los valores normalizados de E y Q de una muestra de hospitales en el

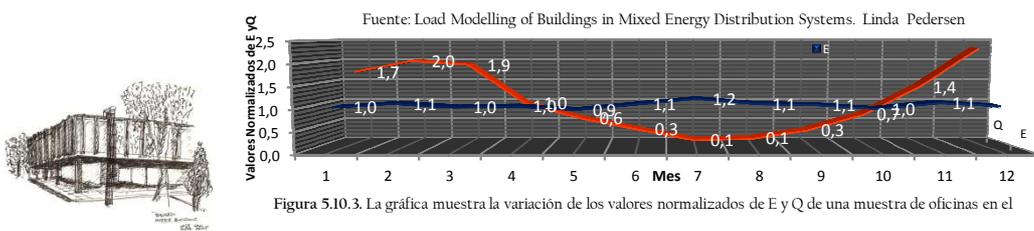


Figura 5.10.3. La gráfica muestra la variación de los valores normalizados de E y Q de una muestra de oficinas en el

Figura 5.II. Transición hacia una demanda una demanda flexible para adecuar a la optima relación E/Q de la oferta energética. a) Demanda de energía eléctrica y térmica a escala de diversas funciones urbanas. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de (Linda Pedersen al. 2007) [21]

Diversos estudios actuales demuestran que la multifuncionalidad y la vinculación entre funciones urbanas son factores clave para optimizar los recursos energéticos en ciudades [44, 45, 46, 47]. Por tanto, la evaluación de estas condiciones a escala de barrio provee información valiosa acerca de la adecuación temporal de la relación entre el uso de energía eléctrica y térmica, basada en unas mayores capacidades de intercambio de energía y de, posibilidades de almacenamiento y de reutilización de energía térmica. Dichas capacidades de gestión de los flujos de energía a escala de barrio deberán ser analizadas en cada caso específico para confirmar el potencial de estos enfoques.

La reutilización de los residuos de energía térmica a escala de barrio es factible no solo del manejo de los flujos provenientes de la generación eléctrica sino también del aprovechamiento de procesos que requieren elevadas temperaturas así como de otros flujos

generados por el barrio. Por otra parte, también es posible el intercambio de energía entre edificios con funciones complementarias y los resultados de almacenar energía a este nivel son mucho más positivos que a escala de edificio único. Los proyectos que se llevan a cabo en la actualidad muestran el potencial de estas soluciones estratégicas.

Un ejemplo de intercambio de energía ha sido estudiado por Leduc y Van Kann [48] con la exploración de la demanda de energía de grupos de funciones urbanas en el barrio de Kerke – West, municipio de Kerkrade en la provincia de Limburg, (Holanda). El fin del estudio era probar un método en el que el aprovechamiento de recursos renovables y residuales era el principio guía en la planeación espacial hacia un metabolismo circular. Sobre la base de densidades y edad de los edificios, establecieron un grupo con diversas áreas residenciales con el mismo patrón de demanda de energía, así como otras funciones con distintas demandas de energía. En la siguiente figura, los autores muestran algunas de las funciones urbanas que debido a su proximidad apoyan el intercambio de flujos de energía.

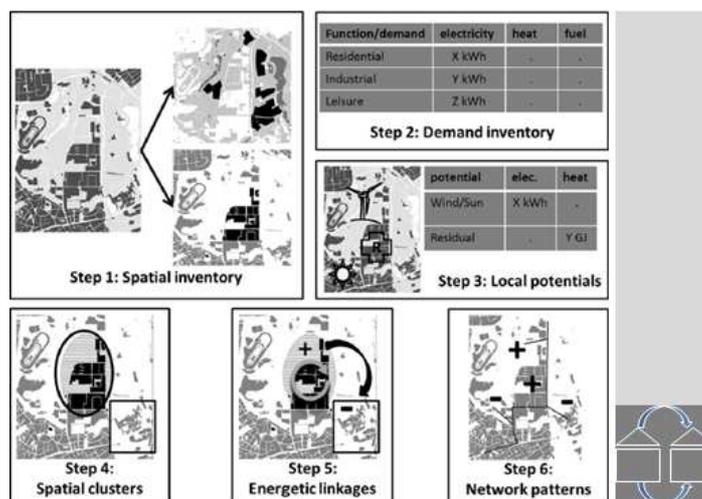


Figura 5.12. Ejemplo actual de las potencialidades de la transferencia de flujos de energía para gestionar la demanda mediante la reubicación del perfil E/Q: Intercambio de energía.

Un ejemplo de reutilización de energía se ha llevado a cabo en Heerlen, en Holanda [49]. En una antigua zona minera se desarrolló una infraestructura de baja exergía para calefacción y refrigeración de edificios, utilizando agua de mina a diferentes niveles de temperaturas como fuente de energía geotérmica y cogeneración con biomasa. La red de energía suministra calefacción a baja temperatura (35° - 40° C) y refrigeración a elevada temperatura (16° - 18° C) y agua de retorno a (20° - 23° C). El proyecto incluye dentro de un área muy compacta: viviendas, edificios comerciales, edificios privados y para la cultura, centro de salud, edificios educativos. Este caso demuestra que mediante una amplia gama de edificios, con diferentes patrones de demanda, los flujos de energía que generalmente se desechan, pueden ser reutilizados entre los edificios con diferentes patrones de demanda de energía.

Otro ejemplo, es el caso de Rotterdam Zuid Hart [50] en el que se propuso la agregación de nuevas funciones complementarias a los edificios de viviendas tales como comercios, infraestructuras para el ocio, oficinas, piscinas. El objetivo era el de cuantificar las ganancias del equilibrio en la relación entre energía térmica (calor /frio). Los autores demuestran cómo, mediante el intercambio de energía entre los edificios con distintos patrones de energía, se puede alcanzar una reducción de la demanda de hasta un 44%.

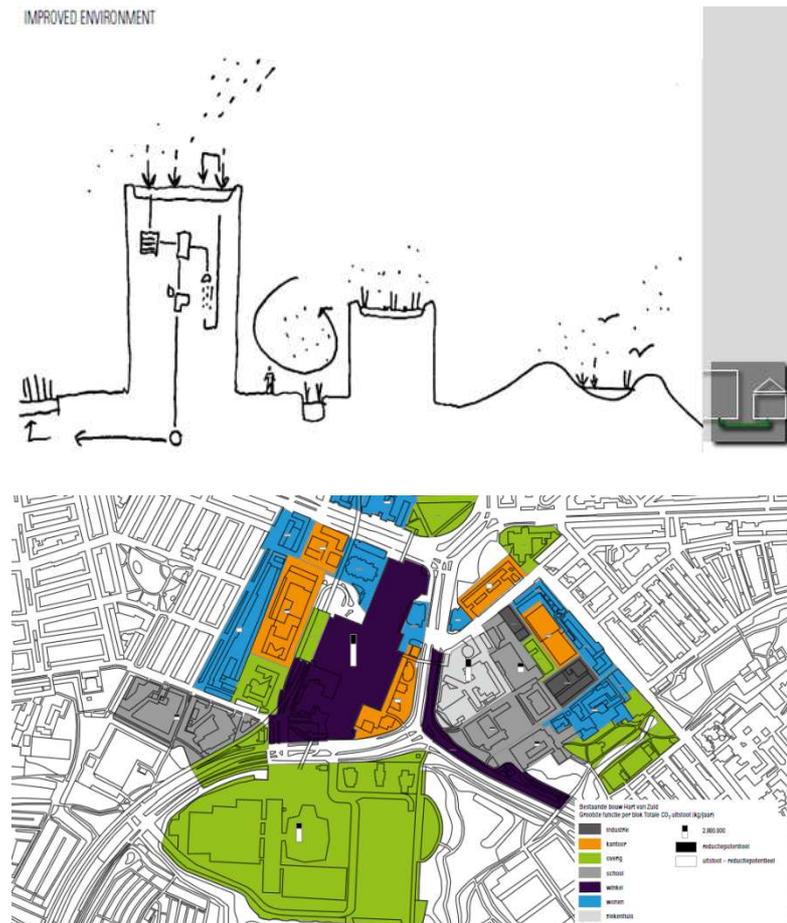


Figura 5.13. Ejemplo actual de las potencialidades de la transferencia de flujos de energía para gestionar la demanda mediante la reubicación del perfil E/Q: Intercambio de energía.

Estos ejemplos ponen en evidencia que el punto de partida para la obtención de nuevos efectos sinérgicos de los flujos de energía a escala de barrio tiene que ser el de maximizar el rendimiento pasivo de los edificios de la zona, tanto individual como colectivamente. Los beneficios pasivos permitirán llevar a cabo medidas que contrarresten las discrepancias en el acoplamiento.

Asimismo revelan que la toma de decisiones para la implementación de la nueva oferta energética altamente eficiente tiene consecuencias para la edificación y las ciudades. La combinación estratégica de las soluciones de reutilización, intercambio y almacenamiento de

generada, reducir la fracción primaria e integrar correctamente los flujos de energía térmica (Q). Tomando en cuenta la capacidad instalada a escala de barrio, el resultado en lograr la reducción de $\text{kgCO}_2 / \text{kWh}_e$, se potencializa.

Dichas medidas implican un desafío para el actual modelo de demanda de energía, muy extendido en aplicaciones de calefacción, refrigeración, equipamiento eléctrico e iluminación. Este reto deberá impulsar la innovación para lograr reducir la demanda de energía al tiempo que contrarresta el sobredimensionamiento de la oferta energética, posibilita la gestión adecuada de los residuos de energía térmica para minimizar su disipación y potencializa la eficiencia global del escenario energético.

Es por lo tanto una parte fundamental de esta investigación, la caracterización del efecto del aprovechamiento de la energía térmica generada por la oferta “altamente eficiente” sobre la variación de los patrones de demanda de calefacción y refrigeración a esta escala. El objetivo de dicha caracterización será el de poder identificar las condiciones adecuadas de acoplamiento energético (entre los niveles E/Q “altamente eficiente” y la demanda global) .y justificar las medidas que contribuyan a generar un impacto positivo en el consumo de energía final en la edificación y el resultado en emisiones.

Con la identificación de los diversos patrones de uso de energía eléctrica y térmica a escala de barrio, es posible articular en el tiempo la curva de la demanda y al hacer esto posible permite optimizar la variación temporal de la relación E/Q.

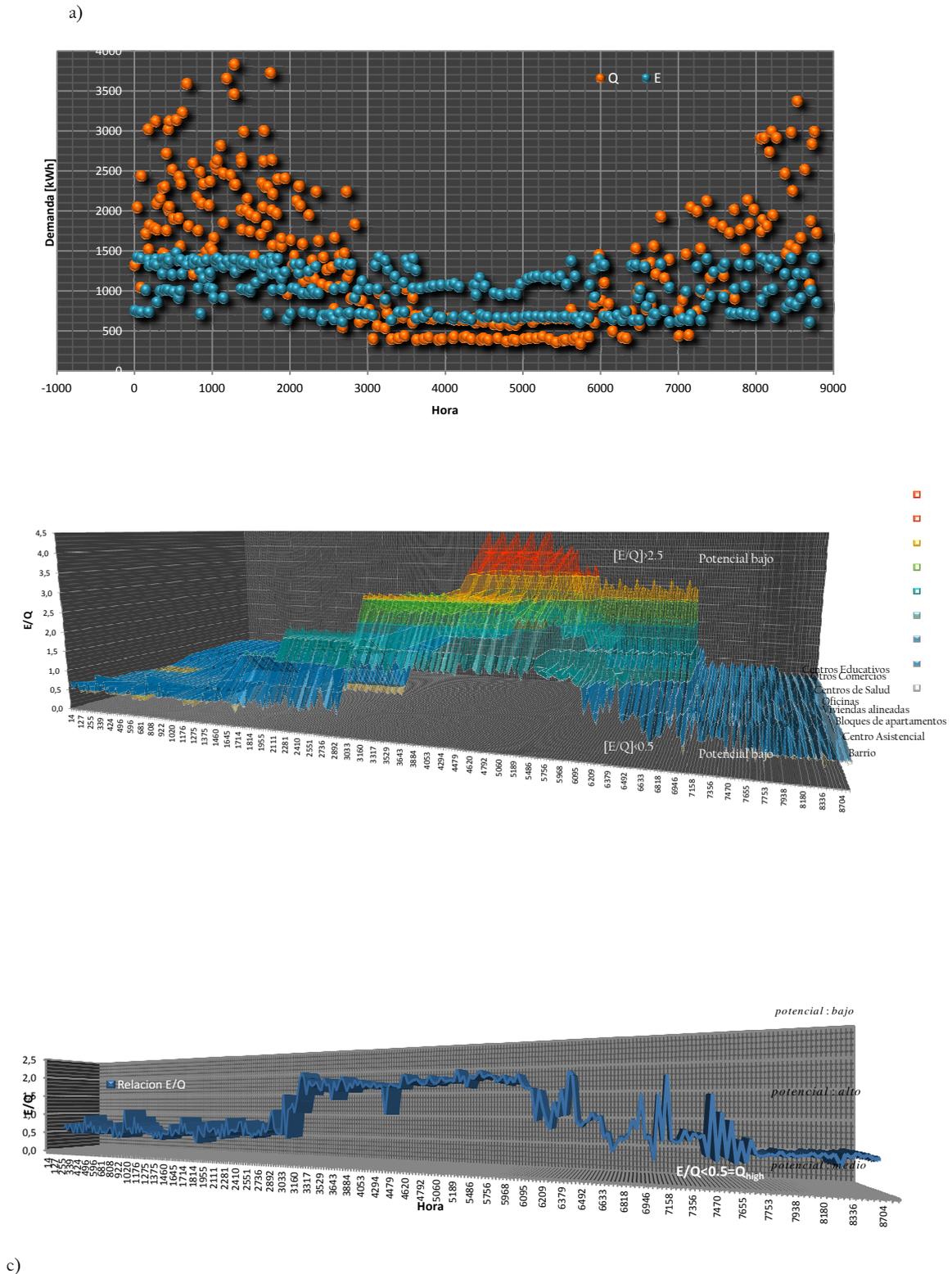


Figura 5.14. Transición hacia una demanda una demanda flexible para adecuar a la optima relación E/Q de la oferta energética. a) Demanda de energía eléctrica y térmica a escala de barrio. b) Relación E/Q de diversos patrones de usos de energía complementarios y distintos a la edificación a escala de barrio c) Ejemplo de la

variación temporal del parámetro E/Q a escala de barrio. Grafica de elaboración propia sustentada en datos de (Pedersen et al. 2007) [21]

5.7. Identificación de Estrategias de Gestión de la demanda energética a escala de barrio

Hasta aquí hemos evidenciado que, bajo la estructura actual del mercado eléctrico, el mayor reto para lograr el “optimo” acoplamiento y facilitar la integración de RES, está relacionado con dos parámetros: la flexibilidad y el determinismo. Es decir, dos de las características más importantes de las diversas funciones de la oferta de sistemas altamente eficientes con posibilidades de modulación de la producción de energía.

Así mismo, hemos mencionado que el barrio, es la escala adecuada para reducir la incertidumbre inherente a la valoración de energía en edificios únicos. Esto se refiere a que, con la ampliación de la escala, las componentes estocásticas independientes que definen la estructura de la demanda de energía eléctrica y térmica de los edificios se agregan y las variaciones temporales suelen suavizarse y aproximarse a una distribución estadística conocida como la distribución log-normal. Este efecto distributivo permite una predicción más fiable y menos incierta de la demanda.

También hemos evidenciado que, a esta escala, la flexibilidad de la demanda se distribuye entre distintos edificios, funciones urbanas y también se agregan más demandas que las de la edificación, lo que indica que el porcentaje de la demanda que puede moverse o desplazarse en el tiempo es mayor.

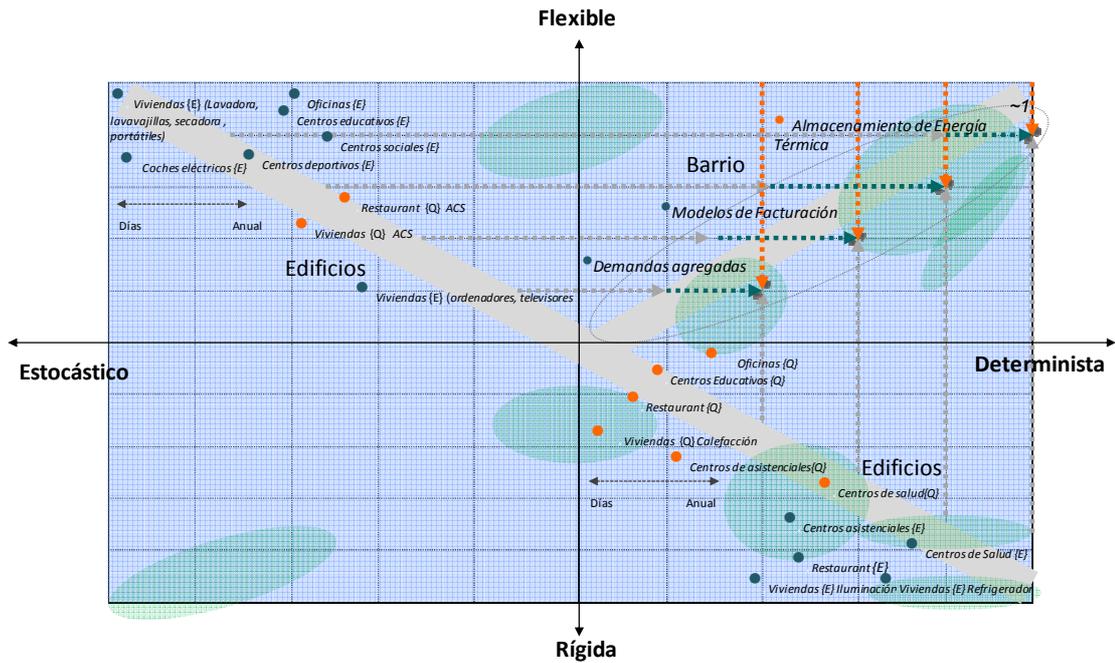


Figura 5.14. Partiendo de un escenario basado en un gran conjunto de edificios, con menor nivel de incertidumbre y capacidad de acoplamiento de la demanda, las medidas de agregación y facturación elevarían el porcentaje de determinismo. Asimismo, introduciendo capacidades de almacenamiento térmico se lograrían importantes mejoras en términos de flexibilidad.

De este modo, determinada por la potencia (kWe) y el radio de las RES, se pone de manifiesto que la escala de acoplamiento con el actual sector de la edificación, se localiza dentro de los límites del barrio.

Bajo estas condiciones, el aprovechamiento de calor está condicionado por factores como: la zonificación urbana (heterogeneidad de los usos de los edificios), la vinculación entre perfiles de demanda, la organización espacial de las zonas en donde se producen los sumideros de calor, la distribución de las funciones urbanas en el espacio, etc. Así como el efecto de estos parámetros sobre las distancias de distribución y las pérdidas de calidad.

Los residuos de calor que se generan pueden ser aprovechados por demandas como, por ejemplo, centros de alta tecnología (centros de datos, laboratorios, institutos de biotecnología, etc.). Estas tipologías requieren de estándares muy estrictos de distribución y representan un importante potencial para que flujos de calor extraídos de procesos de alta y media temperatura puedan recuperarse mediante aplicaciones de baja temperatura. El calor por lo tanto, puede ir en cascada, desde la temperatura de generación (alrededor de 100oC) hasta temperaturas progresivamente menores, como los 65oC útiles para ACS, y así sucesivamente alcanzar los 20oC útiles para la calefacción en viviendas.

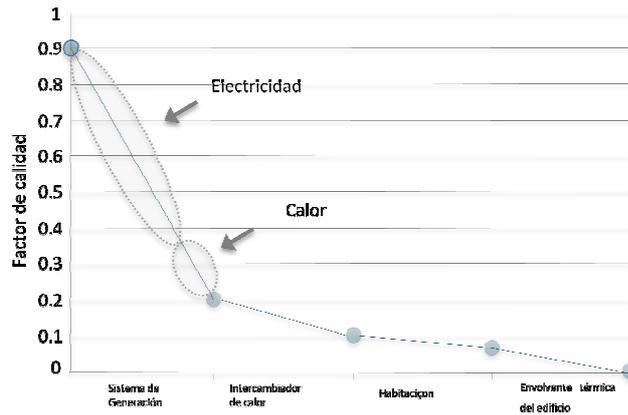


Figura 5.15. Comparación del factor de calidad entre una caldera y un sistema de CHP[2]

Como ya se ha mencionado, el objetivo de alcanzar un acoplamiento mediante la minimización de A' ($A' \rightarrow \phi$), es importante para así poder optimizar los mecanismos de transferencia de calor dentro de la cadena de energía. Esta se divide en varios subsistemas que van desde la generación hasta la envoltura térmica del edificio. La siguiente figura muestra un prototipo de edificio (con una única zona térmica) y una cadena simplificada de energía que generaliza el proceso de transferencia de calor en los edificios.

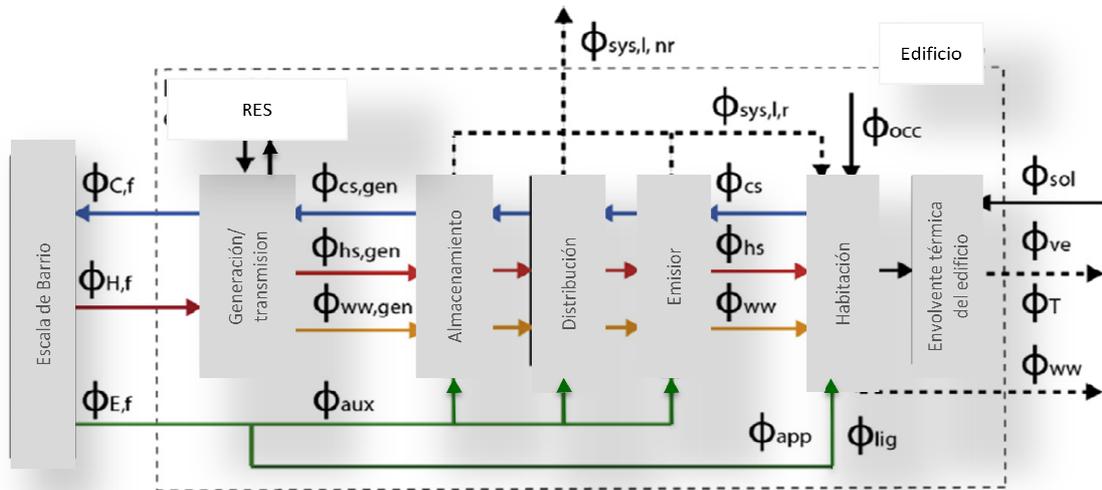


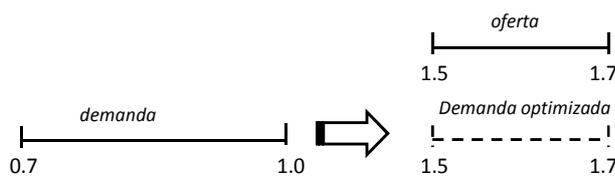
Figura 5.16. Cadena de energía simplificada. Esta figura presenta una generalización de los subsistemas y de los flujos de calor de la cadena de suministro en los edificios. Φ_{ve} y Φ_T son las pérdidas debido a la ventilación y transmisión Φ_{occ} , Φ_{sol} , Φ_{app} y Φ_{lig} son las ganancias de calor del edificio debido a la ocupación, radiación solar, equipamiento e iluminación Φ_{hs} , Φ_{cs} y Φ_{ww} son respectivamente las demandas térmicas. $\Phi_{hs,gen}$, $\Phi_{cs,gen}$ y $\Phi_{ww,gen}$ son respectivamente el output térmicos de los subsistemas de generación. $\Phi_{sys,l,nr}$, $\Phi_{sys,l,r}$ son respectivamente las pérdidas recuperables y no recuperables, Φ_{Hf} , Φ_{cf} y Φ_{Ef} son respectivamente los requisitos de energía eléctrica y térmica de los edificios [59].

A nivel de barrio, esta cadena se hace aún más compleja debido a los mecanismos de transferencia entre edificios. Además la complementariedad de los usos mixtos permite facilitar estos procesos. Por ejemplo: por un lado, los edificios que requieren calor pueden beneficiarse de la prioridad al acceso solar, del intercambio de las múltiples radiaciones entre los edificios de barrio, así como de la recuperación de los residuos de calor, etc. Por otra parte, los edificios que producen calor neto, debido a las elevadas ganancias internas (de la ocupación), pueden favorecerse de las sombras entre los edificios contiguos. Del mismo modo, la recuperación de los residuos de calor conlleva a una implícita reducción del efecto de la isla de calor, lo que permite mejorar el potencial de la refrigeración pasiva nocturna.

La dirección del viento, los espacios entre los edificios del barrio, su altura y forma, entre otras variables, pueden influir significativamente en la optimización de los resultados de estos estudios. De este modo, en un escenario a escala de barrio, los grupos de edificios pueden crear una gran masa térmica a partir de múltiples fuentes de calor y dar lugar a un escenario integrado y diverso .

Lo anterior hace aún más evidente que el valor del parámetro $A' \rightarrow \phi$, es fundamental en los aspectos relacionados con la búsqueda de soluciones bajo un enfoque “holístico” y riguroso de los procesos de transferencia, que permita evitar que la optimización de algunos componentes disminuya “la eficiencia global” y el gasto evitable de los recursos de energía primaria y emisiones.

El acoplamiento a escala de barrio supone una relación específica de E y Q, cuyos rangos de variación deben ser resueltos.



Cómo reducir los desajustes entre la energía eléctrica y térmica de la oferta y la demanda? Cómo articular una E/Q óptima? Sobre que periodo de tiempo hay que actuar para así seguir con la operatividad de los sistemas de generación de energía (on-site o near-site) y la variabilidad temporal de la demanda? hora, día, semana, mes , año?

La respuesta a estos rangos de variación podría obtenerse ajustando desde la eficiencia hasta el tamaño y los factores claves son las capacidades de almacenamiento y el impacto sobre la red de distribución

Con las posibilidades de articulación de una E/Q “óptima” la edificación se convierte hoy en día en un sistema complejo que tiene que cumplir con diversos requisitos comparados con los de hace un poco más de diez años, con la entrada en vigor de la DEEE (2002).

Hasta aquí hemos intentado evidenciar cómo las estrategias para reducir los desajustes entre la oferta y la demanda, tales como las mejoras en la eficiencia de un gran conjunto de edificios o el desarrollo de una oferta energética mayormente flexible y determinista con el creciente apoyo de tecnologías de información y comunicación, otorgan aún más importancia a soluciones como la capacidad de almacenamiento de energía térmica en la edificación.

Hoy en día, hay muchas soluciones que hacen posible articular o reducir Q desde la demanda. Sin embargo, también sabemos que algunas medidas pueden convertirse en soluciones de riesgo, y no debemos repetir enfoques que condicionen la habitabilidad y la reducción del consumo de energía.

Al mismo tiempo, el desarrollo de medidas de la oferta energética “altamente eficiente” ha dado lugar a un esperado uso gradual de tecnologías de Información y Comunicación, que implican no solo “un mayor conocimiento”, sino que también permiten “anticipar lo que va a ocurrir”, reduciendo la incertidumbre y elevando la fracción de determinismo.

El enfoque “holístico” de las redes de energía “inteligentes” a escala de barrio posibilita un análisis sistemático de la interoperabilidad de la oferta heterogénea. Dicho análisis permite tener en cuenta los diferentes flujos de energía e incrementar “la eficiencia global”, a través de importantes mejoras en términos de flexibilidad.

Partiendo del escenario a escala de barrio, con menor nivel de incertidumbre y mayor capacidad de acoplamiento de la demanda, este recurso basado en el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación permite que: las medidas de agregación y facturación elevan aún más el porcentaje de determinismo. Mientras que a través de las capacidades de almacenamiento térmico, se logran ganancias clave en la fracción de flexibilidad. Ver Fig 1

Al mismo tiempo, algunas de las soluciones anteriormente descritas no siempre están cuantificadas. Por lo tanto, su uso “óptimo” para el acoplamiento energético no es del todo conocido.

El almacenamiento de calor pasivo significa que las partes de los edificios con elevada capacidad térmica pueden absorber y emitir calor cuando cambia la temperatura exterior. Este es un fenómeno que siempre ocurre, incluso si no se llevan a cabo acciones directas para utilizar en su plena capacidad

No obstante, cuando los elementos estructurales del edificio se utilizan como parte del ajuste para articular Q , los efectos del almacenamiento de energía térmica en la edificación pueden afectar el consumo de energía y los picos de potencia, mejorar el confort interior y la forma de utilizar la energía primaria.

Dentro de la actual estructura del escenario energético y la aparente evolución de las tecnologías de información y comunicación, estos son aspectos que han ganado mayor importancia. Por lo que, se prevé que tendrán un impacto en el modo que se diseña, rehabilita y opera en la edificación.

La mayoría de las soluciones a nivel de las redes “inteligentes” utilizadas hoy en día, se construyen para compensar instantáneamente las más pequeñas desviaciones. Las pérdidas debidas a ventilación y transmisión son directamente proporcionales a la temperatura exterior, lo que ha llevado a desarrollar sistemas de automatización basados en esto.

El resultado es que los sistemas tratan de dar una temperatura interior constante basada en la temperatura exterior. Sin embargo, la inercia térmica del edificio conduce a que con frecuencia los sistemas están desfasados. Además, muchos de los enfoques existentes de control son tan complicados que obstruyen los procesos de transferencia de calor dentro de la compleja cadena de energía.

No obstante, en la actualidad se ha dado la posibilidad de gestionar así los edificios, aprovechando estos procesos, y con ello amortiguar la curva de potencia máxima y reducir consumo de energía.

Además del efecto sobre el consumo de energía, cuando se utiliza la inercia térmica del edificio, el impacto sobre la demanda de potencia máxima puede ser significativo, ya que la inercia térmica puede amortiguar y desplazar los picos de potencia y haciendo esto posible permite cambiar la posición de la demanda en el tiempo. Se podría decir que, durante ciertos periodos de tiempo, se puede “depositar” o “pedir prestada” una cierta cantidad de calor, Q .

Esto es particularmente importante cuando E/Q está temporalmente desarticulada y es, por lo tanto, una de las bases de las llamadas redes de energía “inteligentes”.

Un pre-requisito para la reducción de la demanda de potencia es que haya una gran agrupación de edificios y mezcla de diferentes tipos, para que las pérdidas sean asumibles por la cantidad de Q que se aprovecha

Lo anterior intenta clarificar porqué algunas soluciones son componentes fundamentales en el desarrollo de las llamadas redes “inteligentes”. Sin embargo, este enfoque “óptimo” de utilizar la masa térmica, sobre la base de la energía primaria y las limitaciones del

pico de potencia, no necesariamente reduce el consumo de energía y puede incluso condicionar la habitabilidad. El enfoque aumenta la necesidad de tecnologías flexibles, cuando en realidad la variabilidad de la demanda, junto con las fuentes RES, debería substituir la generación de energía base del modelo energético actual. Lo anterior pone en evidencia que es fundamental utilizar esta capacidad en un modo adecuado.

La otra limitación importante de este planteamiento se relaciona con la frontera entre la demanda y la oferta. Esta limitación ya se vivió hace más de dos décadas con el caso de las empresas telefónicas nacionales, y se resolvió con decisiones y cambios políticos que culminaron con la descentralización de la industria telefónica. Uno de los resultados fue el enorme crecimiento de nuevos mercados para equipamientos y servicios. Hoy en día, la red eléctrica se enfrenta a la misma demarcación fronteriza como la que la red telefónica ha experimentado.

La gestión del consumo de energía en el nuevo modelo le corresponde a la demanda, no a la oferta. Establecer de forma clara esta demarcación ofreciendo a la demanda la posibilidad de abrirse al mercado permitiría dinamizar el sector fomentando la generación de nuevas ideas y enfoques así como democratizar la toma de decisiones. Una completa bidireccionalidad o comunicación en dos vías, facilitada por mecanismos gestionados desde la demanda, permitiría liberarse del control asfixiante de las empresas.

Por si fuera poco, hay quien afirma que los límites en cuanto a la articulación de Q a largo plazo desde la demanda, podrían superarse mediante potenciales de almacenamiento estacional, por ejemplo, mediante esquemas como el Power to Gas (P2G).

Los partidarios de este esquema afirman que puede resolver el problema de la gestión de la intermitencia de las fuentes RES por largos periodos de tiempo, siempre y cuando la penetración de RES exceda la fracción del 30%. El quid de esta tecnología es el almacenamiento de energía en enlaces químicos mediante la generación de “combustibles solares”.

Se definen como “combustibles solares” (CS) aquellos combustibles generados a partir de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Dichos elementos se convierten en combustible de forma directa (mediante técnicas foto-químicas o termo-químicas) o indirecta (mediante uso de electricidad y utilizando técnicas electro-químicas o sistemas plasmó-químicos). Los combustibles generados son generalmente hidrógeno o hidrocarburos (por ejemplo metano). La implementación a gran escala de la generación de gases mediante técnicas directas es hoy día económicamente posible.

Partiendo de estas consideraciones, en un reciente trabajo Goede (2015) propone utilizar técnicas de conversión indirectas (Power to Gas, P2G) para así obtener: 1) “un ciclo

cerrado” de generación de combustible neutral en CO₂ (el CO₂ emitido durante la combustión de CO₂ es recuperado durante el proceso de generación de nuevo combustible) y 2) un “sistema globalmente más eficiente” puesto que (en argumento del autor) los excesos de gas se pueden distribuir y almacenar más fácilmente y más económicamente respecto a los excesos de energía eléctrica generados por fuentes RES. El planteamiento de P2G se muestra de forma simplificada en la Figura 1.

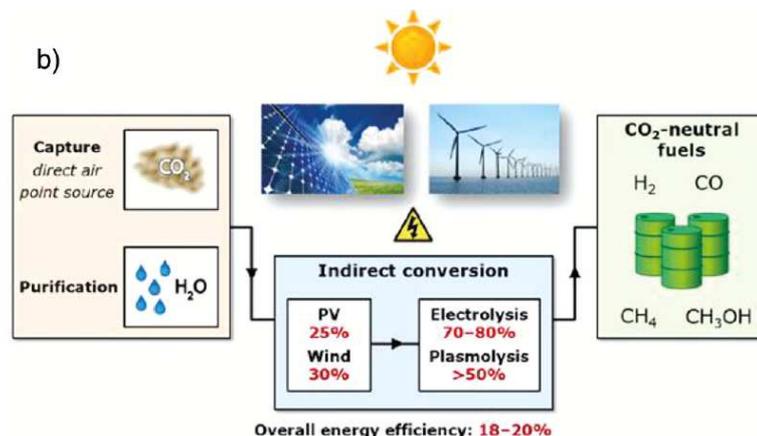


Figura 5.17 Esquema de conversión indirecta de H₂O y CO₂ en combustibles sintéticos (figura tomada de Goede, 2015).

Otra evidencia del planteamiento equivoco de este esquema, es que el autor pretende dar a entender como algo esencial, la integración del P2G con la red de gas existente para balancear los picos eléctricos aliviando así la misma “red inteligente”.

El esquema conceptual de P2G se muestra en la Figura 2. Los excedentes de energía eléctrica se convierten en “syngas” (este es el término utilizado en referencia al gas generado con técnicas de conversión indirecta) mediante electrolisis o plasmólisis y utilizando CO₂ y H₂O. El ciclo de carbón se “cierra” al capturar el dióxido de carbono emitido durante la combustión del syngas. El proceso de generación de metano (que según el autor es más atractivo respecto al hidrogeno debido a su mayor “densidad energética”) a partir de monóxido y dióxido de carbono es conocido como metanación.

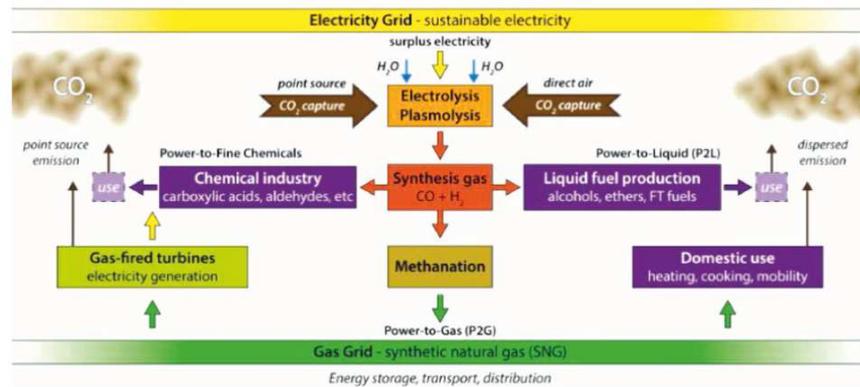


Figura 5.18. Esquema de funcionamiento de un sistema P2G (Power to Gas) (figura tomada de Goede, 2015)..

Los puntos cruciales de estos tipos de sistemas son: (1) su capacidad de respuesta frente a cambios rápidos en la carga eléctrica y (2) su “eficiencia global”. Los sistemas de P2G “puros” (es decir aquellos sistemas donde el “producto final” es el propio syngas) tienen una eficiencia que varía entre el 50% (si la captura de CO₂ es con una fuente puntual) y bajan hasta el 34% cuando la captura de CO₂ se hace directamente desde la atmósfera.

La estrategia anteriormente descrita, no solo tergiversa los beneficios de las soluciones, sino que también perpetúa la ambigüedad sobre los beneficios reales proporcionados por “la red eléctrica inteligente” y desvía la atención de los verdaderos cambios necesarios para permitir una transformación energética.

5.8. Discusión

Ante el nuevo paradigma de la oferta de energía, los planificadores urbanos y diseñadores están llamados a resolver los conflictos para preservar el acceso solar, a fomentar niveles mínimos de demanda de energía en la edificación (mediante el adecuado uso de la luz natural y ventilación, la óptima calefacción y refrigeración pasiva, etc.); a tener sistemas eficientes de energía en la edificación (incluidos electrodomésticos); a promover las prácticas de la edificación que hagan factible la oferta de generación de energía flexible y determinista (mediante perfiles complementarios de uso de energía, el beneficio de una adecuada organización espacial y la distribución de las funciones urbanas); a favorecer patrones compactos de asentamientos que usen la energía más eficientemente; a tener en cuenta la integración de las innovaciones tecnológicas en el sector del transporte, etc.

No obstante, cabe la duda de si los cambios en los sistemas de energía o “modernización de la red eléctrica” será el cambio más grande que vayamos a experimentar en los próximos años en materia de política energética. ¿Cómo una red eléctrica activa un futuro energético seguro, equitativo y estable?

¿Podrán estos cambios descentralizar la economía energética? ¿Permitirán democratizar la toma de decisiones? ¿Se podrá capacitar a las personas para que sean a la vez consumidores y productores? ¿Será posible romper con los monopolios públicos y privados?

Las políticas sobre las tecnologías “inteligentes” parecen consecuencia de una falta de comprensión de los problemas asociados con el futuro de la electricidad y de la energía. La combinación de estos dos tópicos en los ejemplos anteriormente descritos se vuelve desafortunada, dado que no vinculan la gestión de la red de eléctrica (incluyendo los grandes desafíos técnicos del almacenamiento a largo plazo), con la de los recursos energéticos.

Las estrategias, en estos ejemplos, se convierten de este modo en recursos de la oferta que facilitan las soluciones de ajuste a nivel de la red, que pasan por el control de las capacidades de almacenamiento y el aplanado de la curva de demanda pico. De esta forma, se beneficia de la generación flexible y almacenamiento con respecto a la energía primaria. Con lo que en realidad consolida el dominio de la energía base.

Los casos descritos carecen de una perspectiva más amplia que abarque la economía energética en su conjunto. Por lo tanto, representan oportunidades perdidas.

Sería necesario, por lo tanto, abordar la completa transformación estructural del escenario energético y llevar a cabo acciones considerables en términos de política energética,

que vayan más allá de estas tecnologías “inteligentes”, que faciliten la integración de RES y minimicen la necesidad de generación de energía flexible.

Podremos aprovechar este momento para comprometernos con las cuestiones energéticas? o caeremos en la emergencia del calentamiento global, el agotamiento de los recursos energéticos, y la inhabitabilidad en las ciudades?

Algunas transformaciones comienzan a ser factibles, pero solo serán posibles si hacemos las cosas bien y no dejamos solo germinar prácticas que hagan factible las características de la oferta de energía flexible que trabajan en sinergia con las redes.

Es el momento de repensar algunos de nuestros planes de operación dada la aparición de tecnologías “inteligentes” con más escenarios energéticos descentralizados.

Los escenarios a escala de barrio, en un ámbito multidimensional, están sujetos a la toma de decisiones localizada e individual. La gestión de la demanda local, es decir, el acoplamiento con la oferta basada en fuentes RES, podría lograrse bajo su propia justificación energética y limitar así los excesos de las soluciones de la oferta.

En lugar de abrazar dogmáticamente las soluciones descentralizadas, cuyo desarrollo ha sido poco intuitivo, los planificadores deberían servir mejor a la sociedad, considerando cada caso a fondo y controlar mejor los recursos energéticos distribuidos en cada lugar específico mediante diversas soluciones basadas en su propia realidad. Reconociendo, por tanto, que estos nuevos nodos de conversión de energía generalmente se conectan y complementan con el sistema existente.

Bibliografía

- [1] C.A. Balaras, The role of thermal mass on the cooling load of buildings—an overview of computational methods, *Energy and Buildings* 24 (1) (1996) 1–10.
- [2] H. Asan, Numerical computation of time lags and decrement factors for diff
- [3] F. Strub, J. Castaing-Lasvignottes, M. Strub, M. Pons, F. Monchoux, Second law analysis of periodic heat conduction through a
- [4] V. Cheng, E. Ng, B. Givoni, Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate, *Solar Energy* 78 (4) (2005) 528–534.
- [5] K.J. Kontoleon, D.K. Bikas, The effect of south wall's outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations, *Energy and Buildings* 39 (9) (2007) 1011–1018.
- [6] K. Gregory, B. Moghtaderi, H. Sugo, A. Page, Effects of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems, *Energy and Buildings* 40 (4) (2008) 459–465.
- [7] J.N. Hacker, T.P. De Saullés, A.J. Minson, M.J. Holmes, Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change, *Energy and Buildings* 40 (3) (2008) 375–384.
- [8] S.A. Kalogirou, G. Florides, S. Tassou, Energy analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus, *Renewable Energy* 27 (3) (2002) 353–368.
- [9] J.L. Zhou, G.Q. Zhang, Y.L. Lin, Y.G. Li, Energy analysis of buildings employing
- [11] E. Shaviv, A. Yezioro, I.G. Capeluto, Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy, *Renewable Energy* 24 (3/4) (2001) 445–452.
- [12] D.M. Ogoli, Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass, *Energy and Buildings* 35 (9) (2003) 851–862.
- [13] T.Y. Chen, Real-time predictive supervisory operation of building thermal systems with thermal mass, *Energy and Buildings* 33 (2) (2001) 141–150.
- [14] J. Kosny, J.E. Christian, Thermal evaluation of several configurations of insulation and structural materials for some metal stud walls, *Energy and Buildings* 22 (2) (1995) 157–163.
- [15] E. Kossecka, J. Kosny, Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building, *Energy and Buildings* 34 (4) (2002) 321–331.
- [16] L. Zhu, R. Hurt, D. Correia, R. Boehm, Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house, *Energy and Buildings* 41 (2009) 303–310
- [17] James E. Braun, Load control using building Thermal Mass, *Journal of Solar Energy Engineering*, August 2003, Vol. 125.
- [18] Ibrahim Dincer, On thermal energy storage systems and applications in buildings, *Energy and Buildings* 34 (2002) 377–388
- [19] Ingo Stadler, Power grid balancing of energy systems with high renewable energy penetration by demand response, *Utilities Policy*, 16 (2008) 90e98
- [20] Martin Peht, Environmental impacts of distributed energy systems—The case of micro cogeneration, environmental, science & policy 11 (2008) 25–37
- [21] Linda Pedersen, Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems, Doctoral thesis for the degree of philosophiae doctor, Trondheim, February (2007)
- [22] Michael Stadler, Control of Greenhouse Gas Emissions by Optimal DER Technology Investment and Energy Management in Zero-Net-Energy Buildings, Environmental Energy Doctoral Technologies Divisionthesis, August 10, (2009)
- [23] M.B. Blarke, H. Lund, The effectiveness of storage and relocation options in Management in renewable energy systemsZero-Net-Energy Buildings, *Renewable Energy*, September (2007)
- [24] Pilhar. Die Versuchsgebiete des Eckernförder Tarifs, Kiel. (1995)
- [25] Michael Wigbels, Dynamic Heat Storage Optimisation and Demand Side Management. IEA R&D Programme on District Heating and Cooling CHP, (2005).
- [26] L. Barelli, Implementation of a cogenerative district heating system: Dimensioning of the production plant, *Energy and Buildings* 39 (2007) 658–664
- [27] A.A. Al-Temeemi, D.J. Harris, A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered mass-housing in hot-arid climates, *Energy and Buildings* 36 (3) (2004) 251–260.

- [28] Kolokotroni, A.N. Young, Guidelines for bioclimatic housing design in Greece, *Building and Environment* 25 (4) (1990) 297–307.
- [29] B. Givoni, Comfort, climate analysis and building design guidelines, *Energy and Buildings* 18 (1) (1992) 11–23.
- [30] Y. Etzion, D. Pearlmutter, E. Erell, I.A. Meir, Adaptive architecture: integrating low-energy technologies for climate control in the desert, *Automation in Construction* 6 (5–6) (1997) 417–425.
- [31] I. Dincer, On thermal energy storage systems and applications in buildings, *Energy and Buildings* 34 (2002) 377–388.
- [32] J.W. Mitchell, W.A. Beckman. Theoretical limits for storage of energy in buildings. *Solar Energy* Vol. 42. No. 2, pp. 113-120. 1989
- [33] J.W. Jonathan Karlssona, Lars Wadsoa, Mats Obergb, A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures. *Energy and Buildings* 60 (2013) 146–151
- [34] L.C. Olsson Ingvarsonl. S. Werner. Building mass used as short term heat storage. The 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 to September 2, 2008, Reykjavik, Iceland.
- [35] G.Reynders, T. Nuytten, D. Saelens. Potential of structural thermal mass for demand-side management in dwellings. *Building and Environment* 64 (2013) 187e199
- [36] Zhou, G., Krarti, M., Henze, G.P. Parametric analysis of active and passive building thermal storage utilization. *Journal of Solar Energy Engineering* 127,37–46, 2005.
- [37] Lehmann B, Dorer V, Koschenz M. Application range of thermally activated building systems tabs. *Energy Build* 2007;39:593–8.
- [38] Sharma A, Tyagi VV, Chen CR, Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:318–45
- [39] Wang X, Zhang Y, Xiao W, Zeng R, Zhang Q, Di H. Review on thermal performance of phase change energy storage building envelope. *Chin Sci Bull* 2009;54(6):920–8.
- [40] Zondag HA, Schuitema R, Bleijendaal LPJ, Cot Gores J, Essen van VM, Helden van WGJ, Bakker M. R&D of thermochemical reactor concepts to enable seasonal heat storage of solar energy in residential houses. In: *Proceedings of the ASME 2009 3rd international conference of energy sustainability*, San Francisco, California, USA; 2009.
- [41] P. Hoes, M. Trcka, J.L.M. Hensen, B. Hoekstra Bonnema. Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. *Energy Conversion and Management* 52 (2011) 2442–2447
- [42] K Deb, T Meyarivan, A Pratap, Agarwal S. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans Evol Comput* 2002;6(2):182–97.
- [43] G. Reynders a,b,c,* , T. Nuytten a,b, D. Saelens a,c. Potential of structural thermal mass for demand-side management in dwellings. *Building and Environment* 64 (2013) 187e199
- [44] Wouter R.W.A. Leduc, Ferry M.G. Van Kann. Spatial planning based on urban energy harvesting toward productive urban regions. *Journal of Cleaner Production* 39 (2013) 180e190
- [45] Agudelo-Vera, C.M., Leduc, W.R.W.A., Mels, A.R., Rijnaarts, H.H.M., 2012. Harvesting urban resources towards more resilient cities. *Resources, Conservation and Recycling* 64, 3e12.
- [46]. Burström, F., Korhonen, J., 2001. Municipalities and industrial ecology: reconsidering municipal environmental management. *Sustainable Development* 9, 36e46
- [47]. Liwarska-Bizukojc, E., Bizukojc, M., Marcinkowski, A., Doniec, A., 2009. The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships. *Journal of Cleaner Production* 17, 732e741.
- [48]. Wouter R.W.A. Leduc a,b,* , Ferry M.G. Van Kann c Spatial planning based on urban energy harvesting toward productive urban regions. *Journal of Cleaner Production* 39 (2013) 180e190
- [49]. Annex, IEA ECBCS. "49, Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities. Newsletter No. 1 March , 2007.
- [50]. Tillie, N. REAP: Towards CO2 neutral urban planning. 45th ISOCARP Congress 2009
- [51]. Van Kann, F., Leduc, W., 2008. Synergy between Regional Planning and Energy as a Contribution to a Carbon Neutral Society e Energy Cascading as a New Principle for Mixed Land-use. SCUPAD, Salzburg, Austria.
- [52]. Andersson, S., Werner, S. (2006b) "PM om lagerkapacitet mm med byggnader som värmelager", FVB Sverige AB på uppdrag av Göteborg Energi AB.
- [53]. C. Johanssonl, F. Wernstedt and P. Davidsson. Distributed Thermal Storage Using Multi-Agent Systems. *Electronic Research Archive of Blekinge Institute of Technology*. .October 2012

- [54] José Manuel Naredo Pérez. La encrucijada de la gestión del agua en España. Archipiélago: Cuadernos de crítica de la cultura, ISSN 0214-2686, Nº 57, págs. 17-33, 2003
- [55] Cavoukian, Ann. "Privacy by Design: Best Practices for Privacy and the Smart Grid." in ISSE 2010 Securing Electronic Business Processes: Highlights of the Information Security Solutions Europe 2010 Conference. Norbert Pohlmann, Helmut Reimer and Wolfgang Schneider, Eds. pp 260-270, 2011
- [56] American Council on Renewable Energy (ACORE) "Integration of Renewables into the Smart Grid." Renewable Energy Teleconference Series, <http://renewableenergyinfo.org/index.php/archives/8-archives/55-wednesday-october-19-2011>
- [57] A. P. H. Goede CO₂-neutral fuels Dutch Institute for Fundamental Energy Research DIFFER, 2015.
- [58] F. Meggers, M. Mast, L. Leibundgut, The missing link for low exergy buildings: low temperature-lift, ultra-highCOPheat pumps, in: Proceedings: CLIMA 2010: Antalya Turkey, REHVA, May, 2010.
- [59] Jimeno A. Fonseca , Arno Schlueter. Integrated model for characterization of spatiotemporal building energy consumption patterns in neighborhoods and city districts. Applied Energy 142 247–265. 2015
- [60] Tuula Savola *, Carl-Johan Fogelholm, Increased power to heat ratio of small scale CHP plants using biomass fuels and natural gas, Energy Conversion and Management 47 (2006) 3105–3118
- [61] U.S. Environmental Protection Agency , Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.
- [62] J.G..S. Fonseca Jr.*, H. Asano*, T. Fujii* , S. Hirasawa*, Study on the Effect of a Cogeneration System Capacity on its CO₂ Emissions, International Conference on Power Engineering-2007, October 23-27, 2007
- [63] J.M. Thyholt a,*, A.G. Hestnes b. Heat supply to low-energy buildings in district heating areas Analyses of CO₂ emissions and electricity supply security. Energy and Buildings 40 (2008) 131–139
- [64] Jimeno A. Fonseca †, Arno Schlueter. Integrated model for characterization of spatiotemporal building energy consumption patterns in neighborhoods and city districts. Applied Energy 142 (2015) 247–265
- [65] S iir Kilkas_ A net-zero building application and its role in exergy-aware local energy strategies for sustainability. Energy Conversion and Management 63 (2012) 208–217
- [66] A.D. Peacocka , M. Newboroughb. Effect of heat-saving measures on the CO₂ savings attributable to micro-combined heat and power (mCHP) systems in UK dwellings. Energy 33 (2008) 601–612
- [67] L. Gustavssona,b, A. Dodoob,*, N.L. Truongb, I. Danielskib. Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings. Energy and Buildings 43 (2011) 38–48
- [68] V. Dorer *, R. Weber, A. Weber. Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings. Energy and Buildings 37 (2005) 1132–1146

Capítulo 6

Conclusiones

Los factores básicos que determinan el acoplamiento de la nueva oferta energética y ambientalmente eficiente y la demanda son la potencia eléctrica kW_e , y la relación entre energía eléctrica y energía térmica E/Q y su variación en el tiempo. El factor que evalúa la calidad del acoplamiento entre oferta y demanda en un sistema donde se satisface la demanda, son las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por cada unidad de energía eléctrica consumida $kgCO_2/kWh_e$.

- La potencia eléctrica de las nuevas ofertas ambientalmente eficientes -de menor ratio de $kgCO_2/kWh_e$ - se mueve en entornos de demandas de potencia que se alcanzan a escala de barrio, eso es, de agregación de demandas de edificación que superan en un orden de magnitud la demanda de un edificio de viviendas.

Como es sabido, mantener operativa la potencia del sistema al nivel más aproximado al de su máxima eficiencia y durante la mayor parte del tiempo, constituye una condición necesaria para la eficiencia económica del sistema, tanto para la recuperación de las inversiones como -equilibrando por el otro lado- para la obtención de un precio de la energía asumible por el consumidor. Es por ello necesario que la demanda se acople de la forma más ajustada posible

a la potencia de la oferta y durante el mayor número de horas posible, sin que ello suponga ineficiencia en satisfacer racionalmente las necesidades que configuran esa demanda.

Eso supone que la escala del edificio no es la escala de gestión de la demanda que permite acoplarse a esas ofertas energéticas eficientes ni a su evolución futura. En consecuencia, es un error desarrollar políticas de eficiencia energética en edificación que no tengan en la escala de barrio como el ámbito para definir sus objetivos y determinar sus estrategias. Las actuales políticas -quizá como el desarrollo del nZEB- que pretenden seguir manteniendo la escala del edificio -de la promoción inmobiliaria y de la gestión de la edificación- como la escala clave para definir e implantar objetivos y estrategias, no van a hacer sino retrasar y dificultar el desarrollo y la implantación de los nuevos modelos de oferta energética ambientalmente eficientes, prolongando la viabilidad del actual modelo ineficiente.

Como corolario, la escala de barrio implica la consideración de demandas que exceden el ámbito de la edificación -movilidad, servicios urbanos, etc.- lo que obliga a tener definidos modelos ambientalmente eficientes en estos ámbitos que permitan acoplar las diferentes demandas de la forma más eficiente, exigiendo inexorablemente políticas de eficiencia energética a escala urbana.

- El ajuste de la relación E/Q entre oferta y demanda a las diferentes escalas temporales -instantánea, horaria, diaria, mensual, anual- es clave para el acoplamiento entre ambas. Las nuevas ofertas energéticamente eficientes se mueven en valores cercanos o superiores a 1 en esa relación, mientras que las actuales demandas de la edificación se mueven por valores muy inferiores. El ajuste al alza de esa relación debe determinar las políticas y las estrategias de intervención sobre la edificación considerando -eso sí- cómo afectan a la relación E/Q el resto de las demandas a escala de barrio.

La diversidad de la demanda energética a escala de barrio -que implica los tipos residenciales, la cantidad y tipo de servicios implicados, la presencia de edificios comerciales y de equipamientos, generando combinaciones difíciles de estandarizar en un reducido número de tipos de barrio- hace que sea necesario un análisis específico de la demanda y de las ofertas energéticas más adecuadas para cada barrio y la selección de las estrategias más adecuadas para el acoplamiento.

En ese sentido, la tesis propone como un primer instrumento el cuadro basado en los ejes estocástico/determinista y rígida/flexible para evaluar -a cada escala temporal- cada uno de los elementos de la oferta y de la demanda para tratar de conducir ambas hacia un acoplamiento que minimice la relación $\text{kgCO}_2/\text{kWhe}$ en el conjunto del sistema, independientemente de prejuicios sobre fuentes y usos energéticos que puedan resultar contraproducentes en cada caso.

El eje estocástico/determinista nos indica la previsibilidad en la oferta o la demanda energética (por ejemplo, máximo determinismo para la oferta la proveniente de las nucleares; máximo determinismo para la demanda, por ejemplo, la demanda de iluminación de calles). En ese eje, y como es sabido y como se ha hecho constar en la tesis, la agregación de demandas estocásticas tiende a desplazarlas hacia una demanda más determinista, por lo que la escala de barrio es más óptima que la del simple edificio, aunque agrupe nuevas demandas con su propia estocasticidad.

El eje rígida/flexible nos indica la capacidad de la oferta o de la demanda de desplazarse en el tiempo, de ajustarse o a la rigidez de la oferta -demanda flexible- o de ajustar la oferta a la rigidez de la demanda. En un modelo de gestión de la oferta, como el modelo energético actual, la tecnología se dirige hacia ofrecer flexibilidad en la oferta -aunque ello implique ya habitualmente mayores costes económicos y ambientales- y apenas se trata de flexibilizar la demanda mediante incentivos económicos o normativos al consumidor. La gestión de la energía desde un lado del sistema -la oferta- limita de forma notable el desarrollo de opciones -técnicas y de gestión- que flexibilicen la demanda y permitan la aplicación de las nuevas ofertas energética y ambientalmente eficientes.

El análisis en el plano de esos dos ejes y a cada una de las escalas temporales de acoplamiento debe permitir en cada caso seleccionar los mejores escenarios valorados en $\text{kgCO}_2/\text{kWh}_e$ en un marco de viabilidad económica previamente establecido, así como las estrategias más oportunas para aplicar sobre la demanda y que permita ese acople.

- para el caso de la edificación, las estrategias clave en el acoplamiento a las nuevas ofertas energética y ambientalmente eficientes pasan por la mayor reducción proporcional de la demanda de calor Q para ajustar la relación E/Q en las actuaciones de eficiencia energética. En ese punto, se revelan claves:

- la reducción de la demanda Q mediante acciones de mejora del aislamiento y de la eficiencia de equipos alimentados por energía térmica;
- el aprovechamiento 'en cascada' del calor residual de los procesos de generación eléctrica y de otros procesos productivos, lo que implica el desarrollo de sistemas eficientes de transporte de calor a baja temperatura y la disposición espacial adecuada de usuarios de esa energía a escala de barrio;
- el adecuado uso de la inercia térmica, tanto la propia de los sistemas constructivos de la edificación -que permiten flexibilizar la demanda térmica instantánea, horaria y diaria- como de sistemas de almacenamiento estacional -

incluida la geotermia adecuadamente balanceada verano/invierno- que flexibilicen la demanda estacional.

En este punto es clave, y así se ha mostrado en la tesis, el análisis de las diferentes demandas térmicas en el ámbito de la edificación, su estocasticidad y su rigidez a diferentes escalas temporales, y su articulación con diversas ofertas energéticas. Y la necesidad de una gestión colectiva de la demanda que permita el acoplamiento.

En definitiva, y como conclusión general, el aprovechamiento de las nuevas ofertas energética y ambientalmente eficientes de producción de energía implica el desarrollo de una planificación y gestión a escala urbana, barrial, necesariamente local tanto en la configuración de la oferta como en la de la demanda puesto que los recursos energéticos, las configuraciones urbanas, los parámetros que definen la demanda, etc., van a ser locales.

Ello implica que las políticas que establezcan objetivos energéticos deben ser urbanas, establecidas a esa escala, ligadas a los recursos locales, considerando e integrando también las demandas que se agregan a esa escala, como la movilidad, los equipamientos, los servicios urbanos, así como las estrategias que se definan y establezcan para alcanzar esos objetivos. Unas estrategias que deben estar basadas en la gestión tanto de la oferta como de la demanda.

Ello es claramente contradictorio con las actuales políticas tanto energéticas como de la edificación, separando producción de consumo, y basando aquella en escalas cada vez mayores y éste en actuaciones sectoriales sobre las escalas inferiores, como el edificio o la vivienda.

Estrategias que, en el caso de la edificación, debe pasar por un aumento de la eficiencia energética en el que la relación E/Q aumente, estableciendo por tanto medidas mayores en el ámbito de la satisfacción de la demanda térmica, disminuyéndola y aprovechando que la mayoría de esas demandas térmicas se satisfacen con energía de baja calidad -baja temperatura- y en el que el aprovechamiento de energías residuales y de las variaciones térmicas ambientales es clave y exige el desarrollo de sistemas técnicos que permitan el almacenamiento y el transporte de energía térmica a baja temperatura con la mayor eficiencia posible (más que desarrollar el almacenamiento de E) aprovechando que el uso adecuado de la inercia térmica es el único sistema de almacenamiento energético que no debe suponer necesariamente pérdidas.

Anexos

- 1. Anexo 1: Resumen de datos para la Caracterización de la Oferta Energética.**
- 2. Anexo 2: Información útil para la estimación de los valores E y Q en distintas escalas y categorías de edificios tomando en cuenta el análisis de los nuevos sistemas altamente eficientes.**

Los siguientes datos se han utilizado para contrastar los resultados obtenidos mediante la herramienta de cálculo: “EPA CHP Emissions Calculator”, que determina las emisiones de CO₂ de los diferentes tipos de sistemas altamente eficientes. Estos datos sustentan la gráfica de los Escenarios Energéticos del capítulo V.

1. Anexo 1: Resumen de datos para la Caracterización de la Oferta Energética.

En este anexo resumiremos la información necesaria para estimar el margen de variación de la oferta “actualmente disponible”, tomando en cuenta los tres parámetros sobre los ejes de coordenadas ($x=kW_e$, $y=E/Q$, $z=kgCO_2/kWh_e$)

Profitable process changes according to the simulations and their annual investment costs, profits, saved CO₂ emissions and efficiencies

Process change	Investment cost [k€/a]	Profit (with CO ₂) [k€/a]	CO ₂ saved [t/a]	Efficiencies		
				E/Q	E	Q
1.8MWe						
Base case	-	-	-	0,23	0,17	0,9
Two stage DH exchanger	3	18,4(22,6)	520	0,26	0,19	0,9
Reheat and high pressure preheat	3,3	6,3(8,2)	235	0,25	0,18	0,9
6MWe						
Base case	-	-	-	0,34	0,23	0,9
Two stage DH exchanger	4,9	36,1(43,1)	876	0,39	0,25	0,89
Reheat and high pressure preheat	5,1	71,6(86,5)	1864	0,42	0,26	0,9
GE 0.5MWe, reheat and fuel dryer	78,9	77,1(116,1)	4873	0,41	0,24	0,84
GE 1.5MWe, reheat and fuel dryer	124,9	58,7(119,1)	7538	0,42	0,25	0,84
GE 3.0MWe, reheat and fuel dryer	189,5	23,3(108,2)	10623	0,53	0,3	0,83
11MWe						
Base case	-	-	-	0,43	0,27	0,89
Two stage DH exchanger	6,2	67,6(81,9)	1793	0,45	0,28	0,9
Reheat and high pressure preheat	8,8	130,9(158,0)	3394	0,48	0,29	0,9
GE 1.1MWe, reheat and fuel dryer	110,6	104(164,2)	7524	0,5	0,27	0,79
GE 2.75 MWe, reheat and fuel dryer	181,6	73,6(165,7)	11517	0,57	0,29	0,8
GE 5.5MWe, reheat and fuel dryer	296	10(152,2)	17781	0,65	0,32	0,81
14.7MWe						
Base case	-	-	-	0,48	0,29	0,9
Reheat and high pressure preheat	21,5	192,9(234,6)	5210	0,56	0,32	0,88
GT 1.4 MWe, reheat, preheat and fuel dryer	218,4	241,6(333,4)	11582	0,5	0,28	0,83

Agregación de tecnologías Reducción de CO₂ Incremento de E/Q

[1] Tuula Savola *, Carl-Johan Fogelholm, “Increased power to heat ratio of small scale CHP plants using biomass fuels and natural gas”, Energy Conversion and Management 47 (2006) 3105–3118

Input data for the LCA of micro cogeneration systems (time frame 2010)

Reference number	Micro CHP							Larger CHP				
	Fuel cells		Reciprocating engines				Stirling			Reciprocating		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	PEMFC	SOFC	1kW	3–6 kW	lear 3–6 kW	lear 3–6 kW	lear 3–6 kW	(1–3–6 kW)lear 0.8 kW	3 kW	9.5 kW	50 kW	
Valores E/Q												
Capacity (default)												
Electric (kW _{el})	4,7	1	1	5,5	5,5	5	4,7	5,3	0,8	3	9,5	50
Thermal (kW _{th})	12,5	2,7	3,25	13,9	14,9	12,6	12,5	11,4	6	15	28,5	98
Efficiency (default)												
Electric (%)	32	32	20	25	25	25	25	28	10	15	24	30
Total (%)	85	85a	85	88	93	88	88	88	85	90	96	88b
Efficiency (min)												
Electric (%)	28	28	20	25	25	25	25	10	15	22	28	45
Total (%)	80	80a	80	84	88	84	84	80	85	88	85b	80b
Efficiency (max)												
Electric (%)	32	32	20	25	25	25	25	12	19	26	33	49
Total (%)	90	90a	85	95	99	95	95	90	94	100	90b	88b

Economic lifetime 80,000 h or 15 years, whichever is lower

Caution: Whereas efficiencies for systems 4–8, 12–15 are based on large numbers of realized systems in real-world operation, values for the remaining systems are based on system models and target values of the manufacturers for future real-world performance. Efficiencies are based on lower heating value. All efficiencies are seasonal. Lean: lean operation, cond: use of condenser. a Plus hot stand-by loss. b Plus distribution losses.

Reduction of greenhouse gas (GHG) emissions per kWh_{el} produced, achieved by micro cogeneration technologies with different baselines (combined cycle, anticipated German electricity mix in the year 2010, lignite power plant) and a heat credit based on a condensing boiler, shown are the values for the default cases in Table 1; fuel: natural gas

Reducción de CO ₂												
GHG reduction (heat credit/cond. boiler) compared to	Comb. Cycle w/o CHP	27%	21%	8%	22%	33%	22%	22%	-11%	23%	44%	
	Comb. Cycle w/ CHP	5%	-3%	-20%	-2%	12%	-2%	-2%	-46%	1%	27%	
	Mix G 2010	41%	36%	25%	36%	45%	36%	36%	9%	37%	54%	
	Lignite	67%	65%	59%	65%	70%	65%	65%	50%	65%	75%	

Example: Production of electricity in a SOFC produces 36% less GHG emissions than the future German electricity mix when we assume that on the heat side, a gas condensing boiler is replaced.

[2] Martin Pehnt. *Environmental impacts of distributed energy systems—The case of micro cogeneration*. Environmental science & policy 11(2008) 25–37

	Reciprocating engine	Stirling engine	Fuel cell	District heating Technologies
kW_e				
Single-family (low)	1kW	850W	1 kW SOFC	20 kW rec. eng. w/ 17.8% heat loss
Multi-family (average)	5.5 kW	3 and 9.5 kW	4.7 kW	50 kW rec. eng. w/ 2.4% heat loss
Hotel	5.5 kW	4 and 9.5 kW	4.7 kW	
Full load hours (h/a)				
Single-family (low)	3373	1940	4786	4800
Multi-family (average)	5526–5639	5509–4160a	6432	6456
Hotel	5555–5730	5505–3939a	7015	–
Share of electricity produced in CHP (%)				
Single-family (low)	29	13	41	39
Multi-family (average)	24	13–31a	24	17
Hotel	26	14–31a	24	17
Share of heat produced in CHP (%)				
Single-family (low)	95	100	68	62
Multi-family (average)	61–65	65–93a	39	30
Hotel	65–68	68–92a	45	–

a First value: small Stirling, second value: large Stirling.

[2] Martin Pehnt. *Environmental impacts of distributed energy systems—The case of micro cogeneration*. Environmental science & policy 11(2008) 25–37

Equipment	Capacity (at maximum load)					
Incremento de E/Q						
E/Q	0,24	0,31	0,36	0,40	0,43	
kW_e						
kW _e	330	450	570	690	805	
1st Law						
Gas Turbine System	Efficiency*	0,15	0,178	0,201	0,23	0,234

[3] J.G.S. Fonseca Jr.*, H. Asano*, T. Fujii*, S. Hirasawa*, *Study on the Effect of a Cogeneration System Capacity on its CO₂ Emissions*, International Conference on Power Engineering-2007, October 23-27, 2007

Annual results of the performance variables according to gas turbine's capacity and operation strategy.

Optimization Objective	Incremento de E/Q	Exergetic Efficiency (Minimal Running Cost)		Reducción de CO ₂
	E/Q	Average Exergetic	Economy*	Annual CO ₂ Emissions
0.33x	0,24	0,243	0,071	1,60%
0.45x	0,31	0,246	0,12	3,00%
0.57x++	0,36	0,25	0,214	4,50%
0.69x	0,40	0,253	26.2%	5.90%
0.80x	0,43	0,257	0,29	7,10%

*Value in percentage using the conventional system as reference.

++ Annual average electricity demand

x: Maximum electricity demand

[3] J.G.S. Fonseca Jr.*, H. Asano*, T. Fujii*, S. Hirasawa*, *Study on the Effect of a Cogeneration System Capacity on its CO₂ Emissions*, International Conference on Power Engineering-2007, October 23-27, 2007

Table. Gas Spark Ignition Engine CHP - Typical Performance Parameters

Cost & Performance Characteristics	System				
	1	2	3	4	5
Baseload Electric Capacity (kW)	100	633	1,121	3,326	9,341
Total Installed Cost in 2013 (\$/kW) 15	\$2,900	\$2,837	\$2,366	\$1,801	\$1,433
Electrical Heat Rate (Btu/kWh), HHV16	12,637	9,896	9,264	8,454	8,207
Electrical Efficiency (%), HHV	27.0%	34.5%	36.8%	40.4%	41.6%
Engine Speed (rpm)	2,5	1,8	1,8	1,5	720
Fuel Input (MMBtu/hr), HHV					
Required Fuel Gas Pressure (psig)	0.4-1.0	>1.16	>1.74	>1.74	75
CHP Characteristics					
Exhaust Flow (1000 lb/hr)	1.2	7.89	13.68	40.17	120
Exhaust Temperature (Fahrenheit)	1,2	941	797	721	663
Heat Recovered from Exhaust (MMBtu/hr)	0.21	1.48	2	5.03	10
Heat Recovered from Cooling Jacket (MMBtu/hr)	0.46	0.72	1.29	1.63	4.27
Heat Recovered from Lube System (MMBtu/hr)	Incl.	0.27	0.44	1.12	5.0
Heat Recovered from Intercooler (MMBtu/hr)	n/a	0.31	0.59	2.89	7.54
Total Heat Recovered (MMBtu/hr)	0.67	2.78	4.32	10.67	26.81
Total Heat Recovered (kW)	196	815	1,266	3,126	7857
14 Characteristics are for representative natural gas engine gensets commercially available in 2013. Data based on (1) Tecogen Inverde Ultra 100, (2) GE Jenbacher (GEJ) JMS 312C65; (3) GEJ JMS 41685, (4) GEJ JMS 620F01, and (5) Wartsila 20V34SG					
Form of Recovered Heat	H2O	H2O	H2O	H2O	H2O, steam
Total Efficiency (%) ¹⁹	80.0%	78.9%	78.4%	78.3%	76.5%
Thermal Output / Fuel Input (%)	53.0%	44.4%	41.6%	37.9%	35.0%
Power/Heat Ratio	0.51	0.78	0.89	1.06	1.19
Generation CO ₂ (lb/MWh)	1,479	1,158	1,084	989	988
CO ₂ Net (lb/MWh)	499	516	520	520	540
Net CO ₂ with CHP (lb/MWh)					

[4] U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.

Table. Typical Performance for Gas Turbines in CHP Operation

Cost & Performance Characteristics	System				
	1	2	3	4	5
Baseload Electric Capacity (kW)	3,304	7,038	9,95	20,336	44,488
Total Installed Cost in 2013 (\$/kW) 15	\$3,281	\$2,080	\$1,976	\$1,518	\$1,248
Electrical Heat Rate (Btu/kWh), HHV16	14,247	11,807	12,482	10,265	9,488
Electrical Efficiency (%), HHV	27.0%	34.5%	36.8%	40.4%	41.6%
Engine Speed (rpm)	23.95%	28.90%	27.34%	33.24%	35.96%
Fuel Input (MMBtu/hr), HHV	47.1	83.1	124.2	208.7	422.1
Required Fuel Gas Pressure (psig)	166.8	299.4	362.3	405.2	538
CHP Characteristics					
Exhaust Flow (1000 lb/hr)	149.2	211.6	334	536	1047
GT Exhaust Temperature (Fahrenheit)	838	916	913	874	861
HRSG Exhaust Temperature (Fahrenheit)	336	303	322	326	300
Steam Output (MMBtu/hr)	19.66	34.44	52.36	77.82	138.72
Steam Output (1,000 lbs/hr)	19.65	34.42	52.32	77.77	138.64
Steam Output (kW equivalent)	5.76	10,092	15,34	22,801	40,645
Total CHP Efficiency (%), HHV44	65.7%	70.4%	69.5%	70.5%	68.8%
Power/Heat Ratio	0.57	0.70	0.65	0.89	1.09
Net Heat Rate (Btu/kWh) ⁴⁶	6,81	5,689	5,905	5,481	5,59
Effective Electrical Efficiency (%) ⁴⁷	50%	60%	58%	62%	61%
Thermal Output as Fraction of Fuel Input	0.42	0.41	0.42	0.37	0.33
Electric Output as Fraction of Fuel Input	0.24	0.29	0.27	0.33	0.36
Generation CO ₂ (lb/MWh)	1,667	1,381	1,46	1,201	1,11
Net CO ₂ with CHP (lb/MWh)	797	666	691	641	654

[4] U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.

Table. Microturbine Cost and Performance Characteristics

Microturbine Characteristics [1]	System					
	1	2	3	4	5	6
Nominal Electricity Capacity (kW)	30	65	200	250	333	1000
Compressor Parasitic Power (kW)	2	4	10	10	13	50
Net Electricity Capacity (kW)	28	61	190	240	320	950
Fuel Input (MMBtu/hr), HHV	0.434	0.876	2431	3139	3894	12155
Required Fuel Gas Pressure (psig)	55-60	75-80	75-80	80-140	90-140	75-80
Electric Heat Rate (Btu/kWh), LHV [2]	13,995	12,966	11,553	11,809	10,987	11,553
Electric Efficiency (%), LHV [3]	24.4%	26.3%	29.5%	28.9%	31.1%	29.5%
Electric Heat Rate (Btu/kWh), HHV	15,535	14,393	12,824	13,11	12,198	12,824
Electric Efficiency (%), HHV	21.9%	23.7%	26.6%	26.0%	28.0%	26.6%
CHP Characteristics						
Exhaust Flow (lbs/sec)	0.68	1.13	2.93	4.7	5.3	14.7
Exhaust Temp (oF)	530	592	535	493	512	535
Heat Exchanger Exhaust Temp (oF)	190	190	200	190	190	200
Heat Output (MMBtu/hr)	0.21	0.41	0.88	1.28	1.54	4.43
Heat Output (kWequivalent)	61.0	119.8	258.9	375.6	450.2	1,299.0
Total CHP Efficiency (%), HHV [4]	70.0%	70.4%	63.0%	66.9%	67.5%	63.1%
Total CHP Efficiency (%), LHV	77.3%	77.8%	69.6%	73.9%	74.6%	69.8%
Power/Heat Ratio	0.46	0.51	0.73	0.64	0.71	0.73
Net Heat Rate (Btu/kWh) [6]	6,211	5,983	6,983	6,405	6170	6,963
Effective Electric Eff. (%) HHV [7]	54.9%	57.0%	48.9%	53.3%	55.3%	49.0%
Generation CO ₂ (lb/MWh)	1,814	1,68	1,497	1,53	1,424	1,497
Net CO ₂ with CHP (lb/MWh)	727	700	817	749	722	815

Source: ICF Manufacturer Data Collection. Natural gas fuel. For systems 1, 2, 3, and 6 the vendor provided both input- (ppmv) and output- based emissions (lb/MWh.) For units 4 and 5, the output emissions were calculated as described below.

[4] U.S. Environmental Protection Agency , Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.

Table. Fuel Cell CHP - Typical Performance Parameters

Performance Characteristics	System				
	1	2	3	4	5
Fuel Cell Type	PEMFC	SOFC	MCFC	PAFC	MCFC
Nominal Electricity Capacity (kW)	0.7	1.5	300	400	1400
Net Electrical Efficiency (%), HHV	35.3%	54.4%	0.47	34.3%	42.5%
Fuel Input (MMBtu/hr), HHV	0.0068	0.0094	2.2	4.0	11.2
Total CHP Efficiency (%), HHV	0.86	0.74	0.82	0.81	0.82
Power to Heat Ratio	0.70	2.78	1.34	0.73	1.08
Net Heat Rate (Btu/kWh), HHV	9,666	6,272	7,26	9,948	8,028
Exhaust Temperature (°F)	NA	NA	700	NA	700
Available Heat (MMBtu/hr)	NA	NA	0.78 (to 120°F)	0.88 (to 140°F)	3.73 (to 120°F)
Sound (dBA)	NA	47 (at 3 feet)	72 (at 10 feet)	65 (at 33 feet)	72 (at 10 feet)
NA = not available or not applicable Source: ICF, specific product specification sheets					
Steam Output (MMBtu/hr)	19.66	34.44	52.36	77.82	138.72
Steam Output (1,000 lbs/hr)	19.65	34.42	52.32	77.77	138.64
Steam Output (kWequivalent)	5.76	10,092	15,34	22,801	40,645
Total CHP Efficiency (%), HHV44	65.7%	70.4%	69.5%	70.5%	68.8%
Power/Heat Ratio	0.57	0.70	0.65	0.89	1.09
Net Heat Rate (Btu/kWh)46	6,81	5,689	5,905	5,481	5,59
Effective Electrical Efficiency (%)47	50%	60%	58%	62%	61%
Thermal Output as Fraction of Fuel Input	0.42	0.41	0.42	0.37	0.33
Electric Output as Fraction of Fuel Input	0.24	0.29	0.27	0.33	0.36
Net CO ₂ with CHP (lb/MWh)	1,667	1,381	1,46	1,201	1,11
Generation CO ₂ (lb/MWh)	797	666	691	641	654
CO ₂ (lb/MWh)	1,131	734	980	1,049	980
CO ₂ with heat recovery (lb/MWh)	415	555	520-680	495	520

Source: ICF Manufacturer Data Collection

[4] U.S. Environmental Protection Agency , Combined Heat and Power Partnership, Catalog of CHP Technologies, 2015.

Ejemplo de la Herramienta de cálculo: EPA CHP Emissions Calculator

El siguiente anexo se presenta la herramienta de cálculo para determinar las emisiones de CO₂ y el ahorro de combustible de los sistemas de producción combinada de energía eléctrica y térmica.

Las figuras que se presentan a continuación muestran las entradas de la hoja de cálculo que se utilizan para evaluar el sistema. La herramienta se encuentra actualmente disponible en: <http://www.epa.gov/chp/basic/calculator.html>.

1. CHP: Type of System		Combustion Turbine	Submit
2. CHP: Electricity Generating Capacity (per unit)		Normal size range for this technology is 1,000 to 40,000 kW	
		5,000 kW	Submit
3. CHP: How Many Identical Units (i.e., engines) Does This System Have?		1	Submit
4. CHP: How Many Hours per Year Does the CHP System Operate?		I will enter a value	
	As a number of hours per year	7,500	Submit
	OR As a percentage	0%	
5. CHP: Does the System Provide Heating or Cooling or Both?		Heating Only	
If Heating and Cooling: How many of the 7,500 hours are in cooling mode?			
	As a number of hours per year	-	Submit
	as a percentage of the 7,500 hours?	0%	
If Heating and Cooling: Does the System Provide Simultaneous Heating and Cooling?		No	
6. CHP: Fuel		Fuel Type: Natural Gas	View Biomass and Coal Fuel Characteristics
			Submit
12. CHP: Electric Efficiency		I will enter an efficiency in one of the following blocks	Use default for this technology
	Enter Generating Efficiency as %	29% (HHV)	Submit
	OR Enter Generating Efficiency as Btu/kWh HHV	11,806 Btu/kWh (HHV)	
	OR Enter Generating Efficiency as Btu/kWh LHV	10,684 Btu/kWh (LHV)	
13. CHP: Base Power to Heat Ratio			
The Power to Heat Ratio should reflect ONLY the thermal production of the generating unit (i.e., combustion turbine). Thermal Output of the duct burners (if equipped) should not be included.			
	I will enter a Power to Heat ratio	Use default for this technology	Use the Thermal Calculator to calculate my Power to Heat Ratio
	Power to Heat Ratio	0.62	Submit

Figura I.2. CHP Emissions Calculator – CHP System Characteristics

23. Displaced Thermal: Type of System: Existing Gas Boiler

24. Displaced Thermal: If not a Natural Gas System: What is the Sulfur Content?

I will enter a value or

Enter Sulfur Content as a percent

OR ppm ppm

25. Displaced Thermal: What is the CO2 Emission Rate for this Fuel? (default completed for fuel in Item 23)

Enter alternative value: lb CO2/MMBtu

26. Displaced Thermal: What is the Heat Content of this Fuel? (Enter a value in only ONE of the boxes)

Btu/cubic foot (HHV)

OR Btu/gallon (HHV)

OR Btu/lb (HHV)

27. Displaced Thermal: Efficiency (usually a boiler)

I will enter an efficiency

Enter Generating Efficiency as %

Figura I.3. CHP Emissions Calculator– Displaced Thermal Energy

29. Displaced Electricity: Generation Profile

eGRID Fossil Fuel (2012 data)

[Link to EPA's Fuel and CO2 Emissions Savings Calculation Methodology for CHP](#)

30. Displaced Electricity: Select U.S. Average, eGRID Subregion, NERC region, or State

US Average

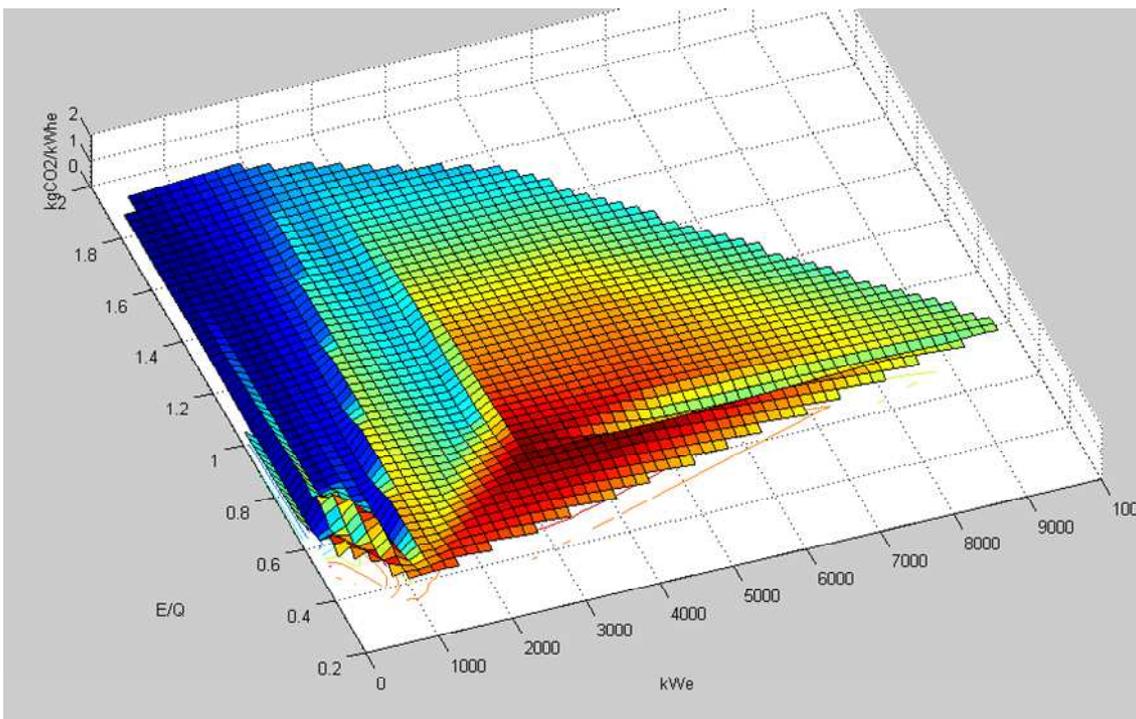
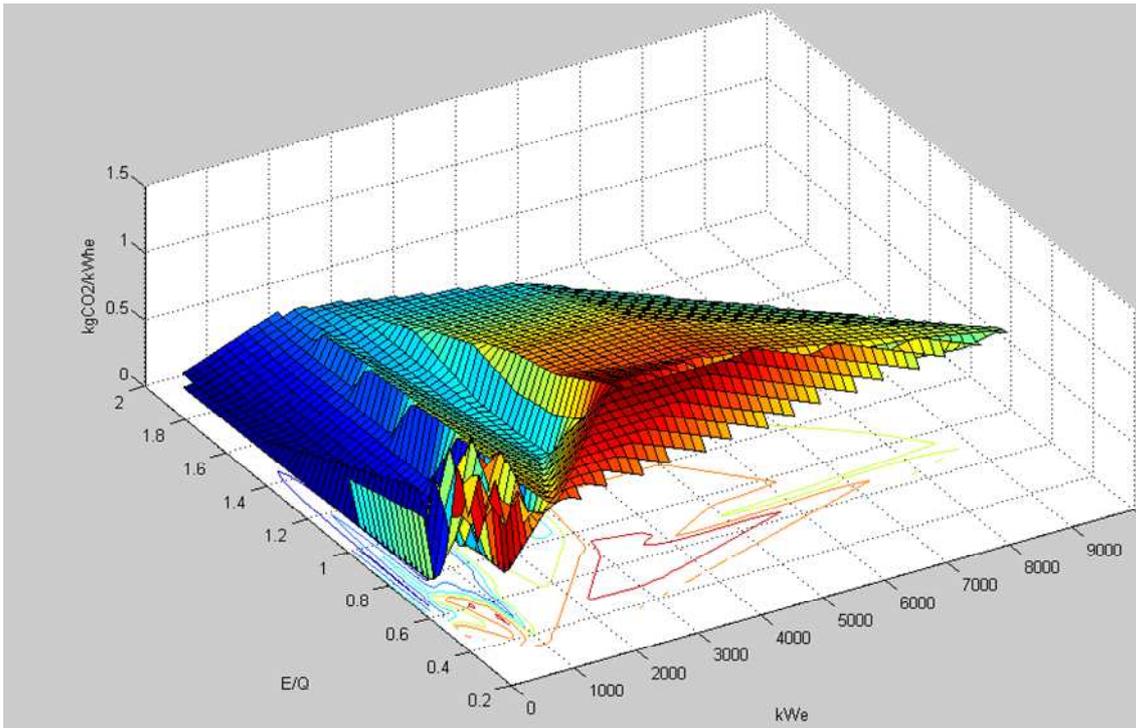
[Link to eGRID Subregion Map](#)

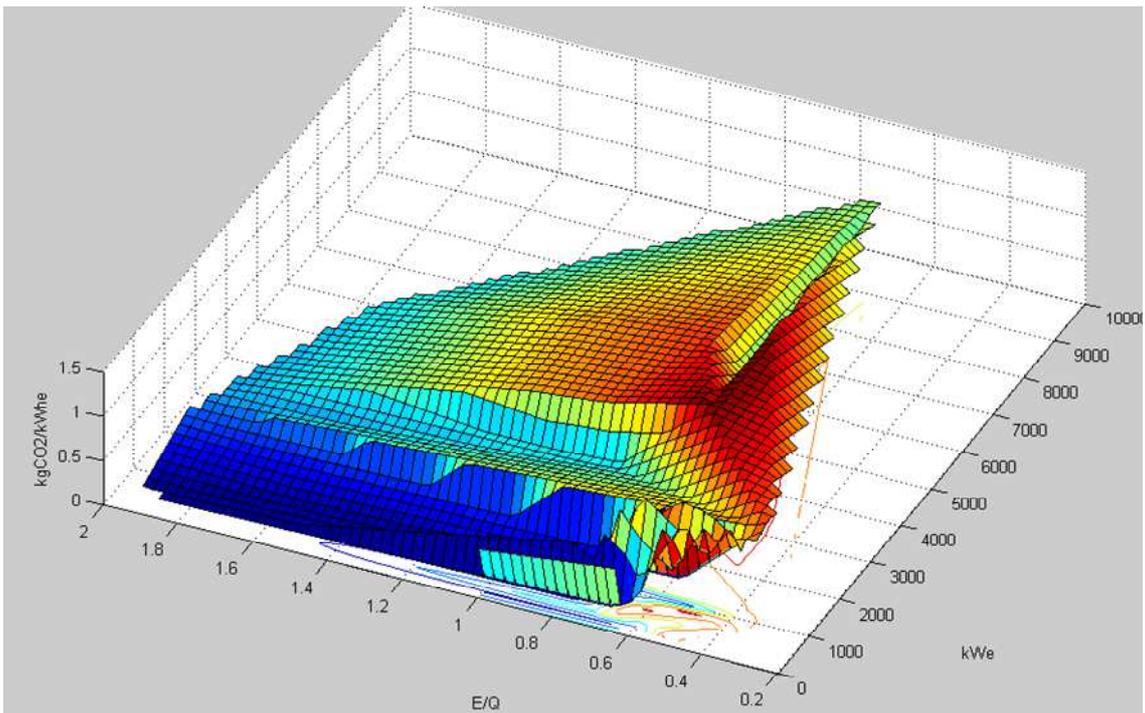
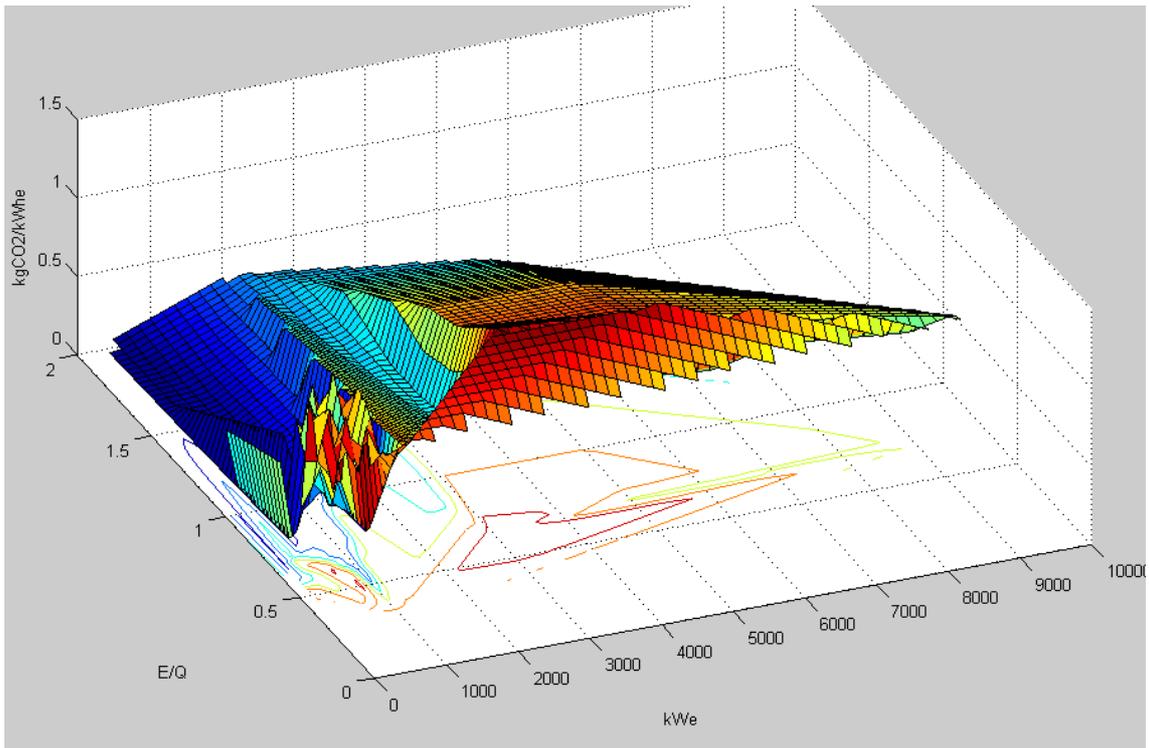
31. Displaced Electricity: Select Electric Grid Region for Transmission and Distribution (T&D) Losses

Eastern Interconnect

[Link to NERC Interconnections Map](#)

Figura I.4. CHP Emissions Calculator– Displaced Electricity



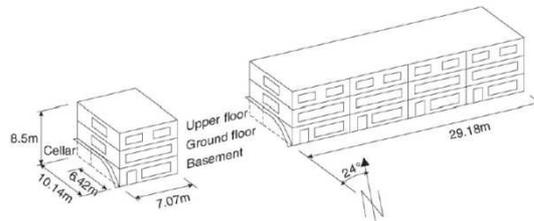


2. Anexo 2: Información útil para la estimación de los valores E y Q en distintas escalas y categorías de edificios tomando en cuenta el análisis de los nuevos sistemas altamente eficientes.

A continuación se presenta información útil para la estimación de los valores de E y Q en distintas escalas y categorías de edificios (vivienda unifamiliar, edificios de apartamentos, centros educativos, centros de salud, oficinas, restaurantes, etc), tomando en cuenta el análisis de los nuevos sistemas altamente eficientes, así como un método de agregación de los perfiles. Esta información sustenta la gráfica de los Escenarios Energéticos 5.3 del capítulo V.

Parameters and configurations considered in this study	
Climate	Climate in Basel, Switzerland (moderate European climate)
Building types	(a) Single-family house (SFH) and (b) multi-family house (MFH)
Energy efficiency levels of building	(a) Building according to present average energy level of Swiss building stock, (b) building complying with target value for new buildings of present Swiss standard and (c) building complying with Passive House standard
Domestic hot water demand	Two profiles: (a) two-person household, both working and (b) four-person family; hot water for washing machine
Electricity demand for domestic appliances	In relation to energy efficiency level of building
Micro-cogeneration units	(a) SO fuel cell (1 kW _{el}) and (b) PEM fuel cell (4.5 kW _{el})
Additional heat generation	(a) Condensing gas boiler and (b) solar thermal collectors
Hot water storage size	(a) 300 L/dwelling, (b) 700 L/dwelling and (c) 1000 L/dwelling
Control options	Heat use is optimized for each configuration. Predictive algorithms and PI control
Operational options for micro-cogeneration unit	(a) Modulation range and (b) start/ stop options
Fuel	Only natural gas is considered
Electricity mix	Non-renewable primary energy demand for generation of grid supplied electricity (a) European average (UCTE), (b) Swiss average incl. import and (c) state-of-the-art combined cycle power plant

	Electricity mix for low-voltage electricity supply			Natural gas supply
	UCTE/econven	Switzerland incl. import	CC power plant	
PE factor p _{ef} (based on LHV) (MJ primary/ MJ end energy)				
Renewable energy	0.25	0.61	0.00	0.00
Non-renewable energy	3.36	2.48	2.14	1.13
CO2 factor (kg/ MJ end energy)				
CO2 factor, including combustion (kg/MJ end energy)	0.154	0.0418	0.1288	0.0072 0.0697



Energy demands per m2 energy reference floor area, heat transfer coefficients (U-values) of exterior walls and glazing and solar heat gain coefficient (G-value) of glazing of the different building types

Building type	Swiss average buildingstock (Swiss av.)				SIA 380/1 target value(SIA target)				Passive House (PH)				E/Q
	SFH	E/Q	MFH	E/Q	SFH	E/Q	MFH	E/Q	SFH	E/Q	MFH	E/Q	
Space heat demand (MJ/(m2 a))	425	0.3	450	0.3	155	0.5	132	0.7	44	1.2	46.5	1.2	
Electricity demand (MJ/(m2 a))	120		130		80		100		52.8		55.6		
U-value exterior walls (W/(m2 K))	0.7		1.1		0.2		0.3		0.15		0.16		
U-value roof (W/(m2 K))	0.35		0.58		0.16		0.2		0.11		0.15		
U-value glazing (W/(m2 K))	2.8		2.8		1.4		1.4		0.7		0.7		
G-value glazing	0.76		0.76		0.59		0.59		0.59		0.59		

Heat distribution and ventilation for the individual building types are as follows

Building type	Heat distribution	Ventilation
Swiss average	Water-based radiators/ convectors (27% radiative)	Natural ventilation by window airing (2.1 m3/(h m2))
SIA 380/1 target value	Floor heating, similar to concrete core cooling/heating	Natural ventilation by window airing (0.7 m3/(h m2))
Passive house	Air heating	Mechanical balanced ventilation with heat recovery (heat recovery efficiency: 68%) (120 m3/h per dwelling) 0.1 h ⁻¹ infiltration in zones with external doors

Lowest modulation power and nominal power of the gas boilers used for the different buildings

Building type	Swiss average building stock (Swiss av.)		SIA 380/1 target value (SIA target)		Passive House (PH)	
	SFH	MFH	SFH	MFH	SFH	MFH
Lowest and nominal power (kW)	2.0-12.6	10.6-50.4	0.9-9	10.6-50.4	0.9-9	0.9-9
Reference used as benchmark	0.9-9	10.6-50.4	0.9-9	2.0-12.6	0.9-9	0.9-9
Back up heater for the FC system	0.9-9	10.6-50.4	0.9-9	2.0-12.6	0.9-9	0.9-9

Lowest modulation power and nominal power of the gas boilers used for the different buildings

Equivalent annual full-load operating hours (h)	Swiss average building stock (Swiss)	SIA 380/1 target value	Passive House (PH)
SOFC only			
SFH: two-person demand profile	5947	4901	3243
SFH: four-person demand profile	6285	5124	3426
MFH	7839	7458	7027
SOFC and solar thermal collector			
SFH: two-person demand profile	5172	3893	2470
SFH: four-person demand profile	5193	3967	2438
MFH	5441	5057	3770

[1] V. Dorer *, R. Weber, A. Weber. *Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings*. Energy and Buildings 37 (2005) 1132–1146

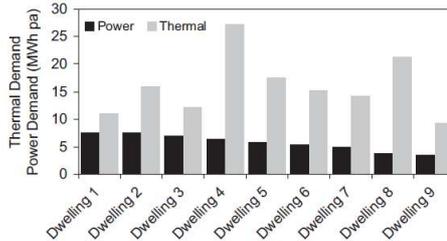


Figura 2.1. Demandas térmicas y eléctricas de las nueve viviendas utilizadas para caracterizar las emisiones de CO₂ procedentes de los sistemas de CHP. (Peacock y Newborough, 2008) [7]

Run	Electrical output (kW)	Electrical efficiency (%)	TARBASE domestic building variants			
			Building description	q (kWh p.a.)	e (kWh p.a.)	E/Q
1	1	10	1900-1918 mid-terrace	12130	2830	0,2
2	1.5	10	Solid wall construction			
3	2	10	Occupants—retired couple			
4	2.5	10	Location—Edinburgh			
5	3	10	1980-1996 detached	15600	5410	0,3
6	1	15	Timber frame construction			
7	1.5	15	Compliant to 1992 UK building regulations			
8	2	15	Occupants—family			
9	2.5	15	Location—Edinburgh			
10	3	15	Pre-1900 detached	18430	5410	0,3
11	1	20	Solid wall construction			
12	1.5	20	Occupants—family			
13	2	20	Location—Manchester			
14	2.5	20	1945-1964 semi-detached	8050	4760	0,6
15	3	20	Masonry cavity wall construction			
16	1	25	50mm cavity—filled			
17	1.5	25	Occupants—family			
18	2	25	Location—Manchester			
19	2.5	25	1945-1964 semi-detached	10520	4760	0,5
20	3	25	Masonry cavity wall construction			
21	1	30	50mm cavity—unfilled			
22	1.5	30	Occupants—family			
23	2	30	Location—Manchester			
24	2.5	30	2002 detached	7610	5410	0,7
25	3	30	Masonry cavity wall construction			
			Compliant to 2002 UK building regulations			
			Occupants—family			
			Location—London			

[1] A.D. Peacock, M. Newborough. *Effect of heat-saving measures on the CO₂ savings attributable to micro-combined heat and power (mCHP) systems in UK dwellings*. Energy 33 (2008) 601–612

Description of notional heat-saving interventions made to the TARBASE domestic building variants

Variantno	Loft insulation (mm mineral wool)		Glazing (u-value, W/m ² K)		Infiltration (ach)		MVHR		External insulation	
	Baseline	Technicalintervention	Baseline	Technicalintervention	Baseline	Technicalintervention	Baseline	Technicalintervention	Baseline	Technicalintervention
1	100	300	2.75	1.40	0.75	Interventions	0.8 ach met by	0.8 ach met by	No	100mm of PU on
2	100	300	2.75	1.40	0.76	that	combination of	combination of	external	timber battens,
3	100	300	5.00	1.40	0.57	cumulatively	infiltration and	infiltration and	insulation	10mm of screed
4	100	300	2.75	1.40	0.39	reduce	ventilation	ventilation, MVHR with		or render
5	250	300	2.00	1.40	0.75	infiltration by		efficiency of 85%		
6	100	300	5.10	1.40	0.57	70%				

[1] A.D. Peacock, M. Newborough. *Effect of heat-saving measures on the CO₂ savings attributable to micro-combined heat and power (mCHP) systems in UK dwellings*. Energy 33 (2008) 601–612

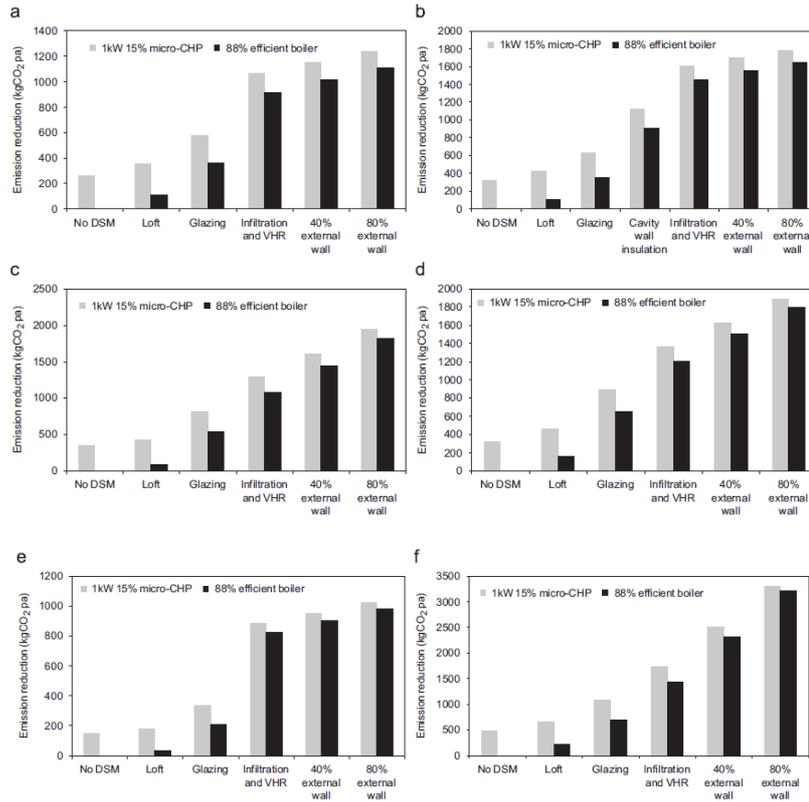


Figura 2.2. Efecto de la reducción de la demanda térmica sobre el ahorro de CO₂ vinculadas a un micro sistema de CHP de un 1 kW de potencia. El sistema es eléctricamente eficiente 15% si se compara con una eficiente caldera convencional 88% en cada una de las variantes de construcción. (Peacocka y Newboroughb, 2008) [7]

[1] A.D. Peacocka, M. Newboroughb. *Effect of heat-saving measures on the CO₂ savings attributable to micro-combined heat and power (mCHP) systems in UK dwellings*. Energy 33 (2008) 601–612

Energy demand (useful energy) per square metre energy reference floor area of present-day residential buildings

Energy demand per square metre reference floor area	Swiss households, 2000 (MJ/m ² a)	SIA target level [28] (MJ/m ² a)	Minergie (MJ/m ² a)	Minergie-P (MJ/m ² a)
Space heating	347a	155	100b-168c	52d
Domestic hot water	59a	50	50	50
Ventilation electricity	-e	-e	8	8
Domestic electricity	87a	80	66	53
Total	493	285	224-292	163

Based on Scenario IIa of Swiss Energy Perspectives [25].

b Based on Minergie requirements [29] using SFH in Fig. 6 and technical data for NGSo system.

c Based on Minergie requirements [29] using SFH in Fig. 6 and technical data for HPSo system.

d Based on Minergie-P requirements [30] using SFH in Fig. 6.

e No mechanical ventilation normally provided.

E/Q	0,2	0,4	0,5	0,6
-----	-----	-----	-----	-----

Energy demand (useful energy) per square metre energy reference floor area of future residential buildings

Energy demand per square metre reference floor area	Swiss households, 2000 (MJ/m ² a)	Minergie (MJ/m ² a)	Minergie-P (MJ/m ² a)	Minergie-P+ (MJ/m ² a)
Space heating	347a	163b-206c	52d	17
Domestic hot water	59a	42	42	42
Ventilation electricity	-e	6	6	6
Domestic electricity	87a	44	44	44
Total	493	255-298	144	109

a Based on Scenario IIa of Swiss Energy Perspectives [25].

b Based on Minergie requirements [29] using SFH in Fig. 6 and technical data for NGSo+ system.

c Based on Minergie requirements [29] using SFH in Fig. 6 and technical data for HPSo+ system.

d Based on Minergie-P requirements [30] using SFH in Fig. 6.

e No mechanical ventilation normally provided

E/Q	0,2	0,2	0,5	0,8
-----	-----	-----	-----	-----

[2] A. Pfeiffer a,*, M. Koschenz a, A. Wokaun b. *Energy and building technology for the 2000 W society—Potential of residential buildings in Switzerland. Energy and Buildings 37 (2005) 1158–1174*

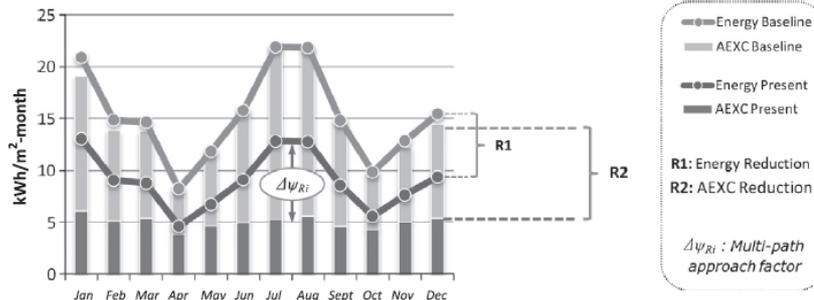


Figura 2.3. En la figura, Ri y R2 marcan la demanda de energía y las reducciones de AEXC entre el edificio base y el edificio actual, respectivamente (después de la aplicación de medidas de ahorro energético que incluyen diseño solar pasivo, una envolvente de elevada masa térmica, iluminación natural, ventilación de modo mixto, etc). (Kilkis 2012) [6]

Distribution of the exergy production according to the bundling of sustainable energy technologies a

NZEXB data	Electricity production ^b (kWh/m ² month)			Thermal energy storage (TES) ^c (kWh/m ² month)			Total
	BIPV	Wind turbine	Combined heat and power (CHP)	Combined heat and power (CHP)	GSHP	Solar collectors	
Months							
January	0.05	0.02	3.2	1.1	0.2	0.10	4.7
February	0.06	0.05	2.8	0.9	0.2	0.10	4.2
March	0.05	0.05	3.1	1.0	0.3	0.08	4.5
April	0.06	0.04	2.7	0.9	0.2	0.09	4.1
May	0.07	0.04	3.8	1.2	0.2	0.11	5.4
June	0.08	0.03	4.2	1.3	0.2	0.12	6.0
July	0.09	0.04	4.6	1.4	0.1	0.13	6.4
August	0.09	0.04	4.6	1.4	0.1	0.13	6.5
September	0.08	0.03	4.4	1.4	0.1	0.13	6.1
October	0.06	0.02	4.0	1.3	0.2	0.09	5.7
November	0.05	0.04	3.0	1.0	0.2	0.06	4.4
December	0.04	0.02	3.0	1.0	0.3	0.07	4.5
Annual total (kWh/m ² yr)	0.8	0.4	43.4	14.1	2.4	1.2	62.4
	44.6 kWh/m ² yr			17.7 kWh/m ² yr			

a The sum of values may not give total due to individual rounding. Lowest value columns are given to two decimal points.
 b The Carnot factor of electricity is one [15] so that the energy and exergy values of electricity are equal.
 c The Carnot factor of the reject heat of the CHP is 0.23 (feeds higher low exergy TES) and 0.17 for the GSHP and solar collectors (feed lower exergy TES).

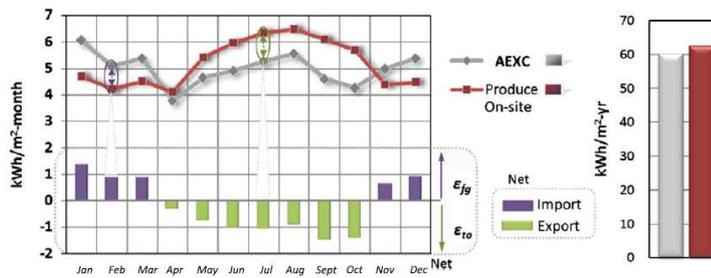


Figura 2.4. La gráfica evidencia el desglose mensual del edificio AEXC (línea gris) y la producción de energía in sitio (línea roja), y el estatus de transferencia de exergía neta (barras inferiores). El edificio exporta energía a la red durante 7 meses. (Kilkis 2012) [6]

Tabulation of NZEXB data for monthly breakdown of AEXC, exergy production, and net status. a

NZEXB data	Components of AEXC (kWh/m ² month)			E/Q	Components of E _{on} (kWh/m ² month)			E/Q	Net status (Eq. (1))
	Electricity	Heating/cooling	Total		Electricity	Heating/cooling ^b	Total		
Months									
January	4.1	1.9	6.1	2.2	3.3	1.4	4.7	2.4	1.4
February	4	1.1	5.1	3.6	2.9	1.3	4.2	2.2	0.9
March	4.5	0.9	5.4	5.0	3.2	1.4	4.5	2.3	0.9
April	3.6	0.2	3.8	18.0	2.8	1.3	4.1	2.2	-0.3
May	4.1	0.6	4.7	6.8	3.9	1.6	5.4	2.4	-0.8
June	3.8	1.1	4.9	3.5	4.4	1.6	6.0	2.8	-1.0
July	3.2	2.1	5.3	1.5	4.7	1.7	6.4	2.8	-1.1
August	3.6	1.9	5.6	1.9	4.8	1.7	6.5	2.8	-0.9
September	3.5	1.1	4.6	3.2	4.5	1.6	6.1	2.8	-1.5
October	3.9	0.4	4.3	9.8	4.1	1.6	5.7	2.6	-1.4
November	4.3	0.7	5.0	6.1	3.1	1.3	4.4	2.4	0.6
December	4.3	1.1	5.4	3.9	3.1	1.4	4.5	2.2	0.9
Annual total (kWh/m ² yr)	46.9	13.1	60.0 (AEXC)		44.6	17.7	62.4 (Produce On-Site)		2.4 (Net export)

a The sum of values may not give total due to individual rounding.
 b The exergy that is produced for heating and cooling is directed to TES tanks before being either used on-site or exported to the public sports arena to act as a district energy hub.

Tabulation of the level of exergy match and impacts on CO2 emissions in Hogdalen and Hammerby.

	Eq. (10)			Eq. (11)				Eq. (8)			
	T_g (K)	T_{app} (K)	η_{dst} a	T_g (K)	T_f (K)	η_{dst} a	ψRi	P_i/η_i (kWh)	c_i (kg CO2/kWh)	c_j (kg CO2/kWh)	η_{CO2i} (kg CO2)
Hogdalen	281.5	325.5	0.14	281.5	1173.0	0.76	0.82	3.9x109	0.13	0.12	6.0x108
Hammerby	281.5	320.5	0.12	281.5	1123.0	0.75	0.84	1.5x109	0.19b	0.12	3.0x108

¹ Is calculated per $P_i - 1$ kWh since equal values are canceled out in Eq. (4) (dimensionless) and P_i/g_i will again be used in Eq. (5).
^b Represents default emission factor for biogas (other) based on IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [32].

[3] Siir Kilkis. A net-zero building application and its role in exergy-aware local energy strategies for sustainability. Energy Conversion and Management 63 (2012) 208–217

Class	Period	HS	Cm	Uwall	Uwin	Uroof	Ubase
MDU1	1920	0.82	3	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU2	1920–1970	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU3	1970–1980	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU4	1980–2005	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU5	2005–2020	0.82	2	0.20	1.30	0.20	0.28
MDU6	2020–2030	0.82	2	0.11	0.90	0.09	0.15
MDU7	1920?	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU8	1920–1970?	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU9	1970–1980?	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU10	1980–2005?	0.82	2	0.30	1.50	0.30	0.35
MDU11	2005–2020?	0.82	2	0.25	1.30	0.25	0.30
MDU12	2020–2030?	0.82	2	0.15	0.90	0.15	0.20

Figura 2.1. Abstracts of archetypes database: characteristics of building envelope for multiple dwelling unit classes. /Renovation periods. In this table is the ratio of heated space of the building area. The value of is equal to: one (1) for light weight construction equivalent 110 kJ/m2, two (2) for medium weight construction equivalent to 165 kJ/m2, three (3) for Heavy weight construction equivalent to 280 kJ/m2. Uwall, Uwin, Uroof, Ubase are respectively the thermal transmittance coefficients of typical walls, windows, roof, and slabs/floor in contact with the ground in W/m2 K. Other properties not included in this table are the linear coefficients of transmittance of piping for every building class. These coefficients are obtained from DIN V 18599:2011. (Fonseca et al. 2008) [4,5].

Class	Period	qhs	qww	qcs	qcd	eapp+lig+aux	edata	E/Q
ADMIN1	1920	119	11	0	0	104	0	0,8
ADMIN2	1920–1970	119	11	15,3	15	99	15	0,7
ADMIN3	1970–1980	123	11	15,3	15	99	15	0,7
ADMIN4	1980–2005	106	11	13,9	15	119	15	0,9
ADMIN5	2005–2020	53	11	18,5	15	117	15	1,4
ADMIN6	2020–2030	32	11	20,4	15	63	15	1,0
ADMIN7	1920?	55	11	18,9	15	95	15	1,1
ADMIN8	1920–1970?	72	11	18,9	15	95	15	0,9
ADMIN9	1970–1980?	67	11	20	15	95	15	1,0
ADMIN10	1980–2005?	74	11	18,5	15	95	15	0,9
ADMIN11	2005–2020?	65	11	18,5	15	63	15	0,7
ADMIN12	2020–2030?	52	11	20,4	15	63	15	0,8

Figura 2.2. Abstracts of archetypes database: Specific energy services values for administrative classes. /Renovation periods. In this table qhs, qww, qcs, qcd, are the specific thermal annual consumption values of space heating + humidification, domestic hot water, space cooling + dehumidification, and server-room cooling. eapp+lig+aux, edata are the specific electrical annual consumption values of appliances + lighting + ventilation+ auxiliary equipment and d server-room equipment. (Fonseca et al. 2008) [4,5].

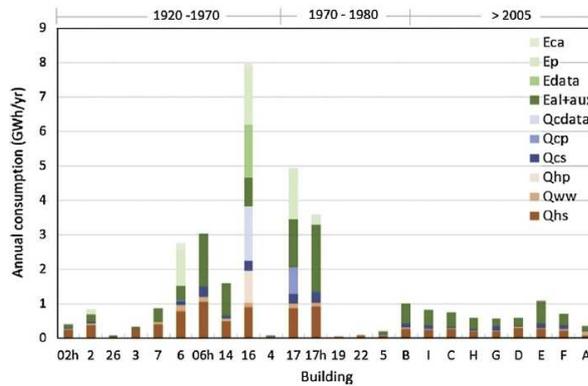


Figura 2.5. Estimación del consumo energético anual en edificios (Fonseca y Schlueter. 2015) [4].

[4] Jimeno A. Fonseca [†], Arno Schlueter. Integrated model for characterization of spatiotemporal building energy consumption patterns in neighborhoods and city districts. Applied Energy 142 (2015) 247–265

[5] Energetische Bewertung von Gebäuden of the Normenausschuss Bauwesen. Energy efficiency of buildings – calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water (DIN V18599:2011); 2011.

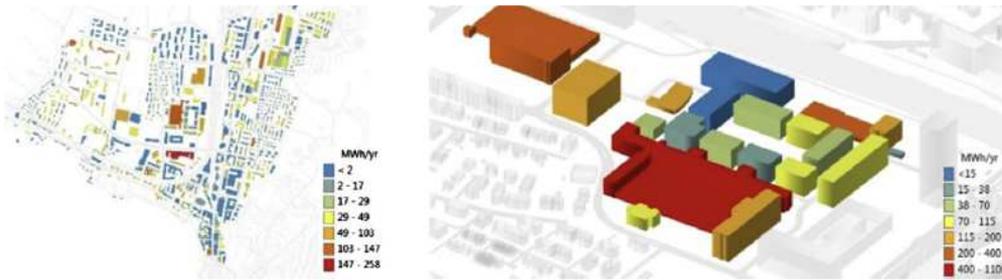


Figura 2.6. Potencial de reducción de energía mediante la implementación de medidas de mejora de la envolvente térmica de los edificios en el área de estudio y de los edificios en la zona de interés (Fonseca y Schlueter. 2015) [4].



Figura 2.7. Potencial de reducción de energía mediante la mejora de los aparatos eléctricos en los edificios el área de estudio y en los edificios en la zona de interés(Fonseca y Schlueter. 2015) [4].

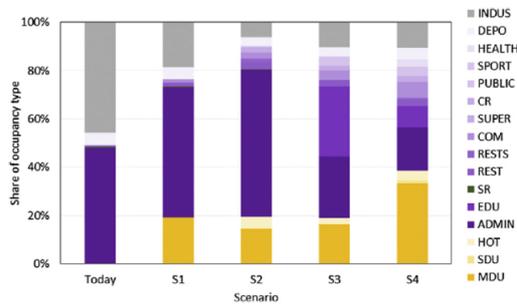


Figura 2.8. Share of building occupancy types per scenario (Fonseca y Schlueter. 2015) [4].

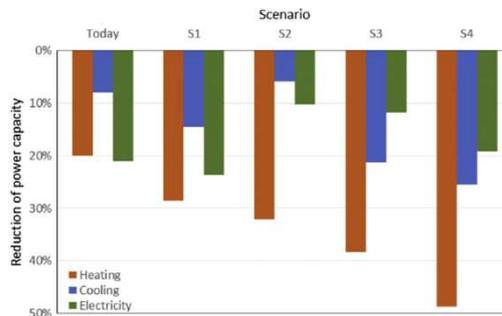


Figura 2.9. Reducción de las necesidades de capacidad de energía en la zona de interés para cada vector energético (electricidad, calefacción y refrigeración) y por cada escenario. (Fonseca y Schlueter. 2015) [3].

[4] Jimeno A. Fonseca ↑, Arno Schlueter. *Integrated model for characterization of spatiotemporal building energy consumption patterns in neighborhoods and city districts*. Applied Energy 142 (2015) 247–265

[5] Energetische Bewertung von Gebäuden of the Normenausschuss Bauwesen. Energy efficiency of buildings – calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water (DIN V18599:2011); 2011.

Data for the building model, dependent on building case

Various data for the building cases	REF	LOW-1	LOW-2
External walls, U-value excluding thermal bridges (W/m ² K)	0.21	0.16	0.14
Thickness mineral wool (mm)	200	250	300
External walls, U-value including thermal bridges (W/m ² K)	0.36	0.25	0.20
Thermal brake thickness (mineral wool outside floor units and the load bearing structure (mm)	50	100	150
U-value roof (W/m ² K)	0.15	0.11	0.09
Thickness mineral wool (mm)	250	350	450
U-value floor on ground, including thermal bridges of the foundation (W/m ² K)	0.15	0.11	0.10
Thickness expanded polystyrene (EPS)	200	300	350
U-value windows (W/m ² K)	1.2a	1.1b	0.8c
U-value doors (W/m ² K)	1.0	1.0	1.0
U-value balcony doors (W/m ² K)	1.3	1.1	1.1
Solar transmittance of glass panes (%)	63	45	45
Air-leakage number (n50) (number of air changes per hour)	1.5	1.0	0.6
Ventilation air changes (number of air changes per hour)	0.8	0.8	0.8
Ventilation, heat recovery efficiency rate (%)	80	80	80
Hydronic space and tap water heating, system efficiency rate (HEAT-dh) (%)	92	-	-
Electric based heating system, efficiency rate (HEAT-el and HEAT-el/dh) (%)	-	97	97
Specific fan power (kW/m ³ s)	2.5	2.5	2.5
Annual energy use for lighting (kWh/m ²)	17	17	17
Annual energy use for appliances (kWh/m ²)	27	27	27
Annual energy use for tap water heating (kWh/m ²)	25	25	25
Annual energy use to cover losses from electrical water heaters (kWh/m ²)	-	5	5
Annual heat gain from persons (kWh/m ²)	12	12	12
Indoor room temperature (8C)	21	21	21

a Wooden window with insulated sash, double glazing with one low emissivity coating and 16 mm argon-filled cavity.

b Wooden window, triple glazing with two low emissivity coatings and 2 16 mm argon-filled cavities.

c Wooden window with insulated sash and frame, triple glazing with two low emissivity coatings and 2 16 mm argon-filled cavities.

CO₂ emissions related to production of district heat and electricity

Energy carrier or purpose	Emissions of CO ₂ related to delivered fuel or electricity Gram CO ₂ per kWh fuel or delivered electricity	Emissions of CO ₂ related to operation of circulation pumps and boilers Gram CO ₂ per kWh produced district heat	Efficiency rate of boilers and heat pumps ^a	Efficiency rate of district heating grid	Emissions related to delivered district heat or electricity Gram CO ₂ per kWh delivered district heat or electricity
District heat					
Waste	0	-	-	-	0
Biomass fuel	0	-	-	-	0
Fuel oil	274b	-	0.85a	0.91	354
Electricity, E1-coal	891	-	0.95a	0.91	1031
Electricity, E1-gas	386	-	0.95a	0.91	447
Heat pump, E1-coal	891	-	2.8c	0.91	350
Heat pump, E1-gas	386	-	2.8c	0.91	151
Electricity for operation of circulation pumps/boilers, E1-coal	-	0.01x891	-	0.91	10
Electricity for operation of circulation pumps/boilers, E1-gas	-	0.01x386	-	0.91	4
Electricity directly to end user	0.01	1	386	-	0.91
Electricity, E1-coal	891	-	-	-	891
Electricity, E1-gas	386	-	-	-	386

a Ref.

b Ref.

c Ref.

Energy demand (including heating system losses) for various energy purposes, depending on building case and heating solution. Given as kWh per square meter

Energy purposes	Energy supply	REF, HEAT-dh (kWh/m ²)	HEAT-el (kWh/m ²)		HEAT-el/dh (kWh/m ²)	
			LOW-1	LOW-2	LOW-1	LOW-2
Space heating	Electricity	-	23,5	14	26,3	18,3
	District heat	43,3	-	-	-	-
Hot tap water	Electricity	-	30	30	-	-
	District heat	27,2	-	-	27,2	27,2
Ventilation (electric heating coil)	Electricity	1,6	1,6	1,6	1,6	
Electrical appliances	Electricity	27	27	27	27	
Lighting	Electricity	16,6	16,6	16,6	16,6	
Fans, pumps	Electricity	12,7	11,7	11,7	11,7	
Sum annual energy demand		128,4	110,4	100,9	110,4	102,4
Sum annual electricity demand		57,9	110,4	100,9	83,3	75,2
Sum annual district heat demand		70,5	0,0	0,0	27,2	27,2
E/Q		0,8			3,1	2,8

[6] J.M. Thyholt a.*, A.G. Hestnes b. *Heat supply to low-energy buildings in district heating areas Analyses of CO2 emissions and electricity supply security.* Energy and Buildings 40 (2008) 131–139

Building Characteristics			
	Detached House		Townhouse
Number of stories	2		3
Floor area (m ²)	185		185
Width (m)	11.7		9.5
Depth (m)	9.0		7.3
Total building height (m)	10.5		12.3
Roof area (m ²)	161.6		98.1
Thermal resistance values:			
Exterior wall	7 W/m ² K		
Ceiling	12 W/M ² k		
Slab on grade	2.5 W/m ² K		
Exposed slab	7 W/m ² K (slab above unconditioned garage)		
Door	1.14 W/m ² K		
Thermal mass			
	1st & 2nd floor 100 mm concrete slab, 105 mm brick partition north and south zones.		
Window type			
	Triple glazed, low-e, argon (U=1.058, SHGC=0.579) with fiberglass frame.		
Size and number of windows:			
North	4 @ 1.2m x 1.2m		3 @ 1.2m
South	8 @ 1.5m x 1.5m		10 @ 1.5 x 1.5m
East	2 @ 1.2m x 0.9m0		
West		0	0
% South lazing of floor area/ south wall	11.2% / 36.5%		13.8% / 37.3%
Shading Strategy			
	Fixed awnings 0.3 m offset and 0.9 m projection.		
Occupants			
	2 Adults and 2 Children occupied from 16:00 - 9:00		
	24°C: Schedule: 6:00 – 9:00, 16:00 – 23:00		
Set point temperatures			
	Heating setback 19°C, cooling set back 26°C,		
Internal loads:			
	Energy efficient based on Tse, et al., (2009).		
Major appliances			
	3.77 kW/day, schedule: refrigerator 24hrs; dishwasher, stove, washer, 6:00am – 8:00 am, 17:00 – 20:00		
Minor appliances			
	3.0 kW/day, schedule: 6:00 – 9:00, 14:00 – 23:00		
Indoor lighting			
	1 kW/day, schedule: 6:00 – 9:00, 14:00 – 23:00		
Exterior loads			
	1.85 kW/day, result in no internal gains		
Heat recovery ventilator			
	88% apparent sensible effectiveness @ 60 L/s, operating at 36L/s.		
Air change rate			
	0.6 ACH @ 50Pa		
Natural ventilation for cool			
	Available April 15 - Oct 15, set point 22°C.		
Domestic hot water load			
	100 L/day with water efficient appliances based on Tse, et al., (2009)		
Heating and cooling			
	Auxiliary heating with COP 1.0, fan distribution efficiency of 80%. Central airconditioning with COP of 3.5.		

Community Characteristics				
	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2a	Scenario 2b
Minimum Spacing (m)	17.6	31.3	22.3	38.3
# of rows in east –west direction	28	28	41	41
# of columns in north- south direction	15	10	12	8
Total # of units	420	280	492	328
Density units/ha	26.2	17.5	30.7	20.5
Total Population	1,680	1,120	1,970	1,310
Population Density cap/ha	105	70	123	82
Total Roof Area (m ²)	75,100	50,000	87,900	58,600

Annual Household Energy Demand												
	Isolated		Scenario 1a		Scenario 1b		Isolated		Scenario 2a		Scenario 2b	
	kWh/m ²	kWh/hh	kWh/m ²	kWh/hkWh/hh								
Space Heating	10.1	1,870	16.5	3,050	14.7	2,730	7.64	1,410	10.2	1,900	9.35	1,730
Water Heating	4.86	900	4.86	900	4.86	900	4.86	900	4.86	900	4.86	900
Appliances	17	3,150	18.3	3,380	18.3	3,380	18.3	3,380	18.3	3,380	18.3	3,380
Lighting	1.97	365	1.97	365	1.97	365	1.97	365	1.97	365	1.97	365
Space Cooling	1.3	241	0.97	179	1.06	196	1.33	245	0.98	182	1.04	192
System Fans	1.44	267	1.17	216	1.26	233	1.4	259	1.16	215	1.21	225
Total	36.7	6,800	43.7	8,090	42.2	7,800	35.5	6,560	37.5	6,940	36.7	6,790
E/Q	1.3	0.6	1.0	0.5	1.0	0.5	1.6	0.5	1.3	0.5	1.4	0.5

[7] Robert Stupka and Christopher Kennedy. *Impact of Neighborhood Density on Building Energy Demand and Potential Supply via the Urban Metabolism.* University of Toronto. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2010

Energy Demand				
	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2a	Scenario 2b
SDHW (MWh)	546	364	640	426
Space Heating + Supplemental Hot Water (MWh)	1,650	1,040	1,340	848
Space Cooling (MWh)	84.0	58.5	105.0	71.6
Auxiliary Energy (MWh)	1,420	946	1,660	1,110

Mass Content of Waste Streams per Year					
	Kg/Capita (Kg/unit)	Scenario 1a (kg)	Scenario 1b (kg)	Scenario 2a (kg)	Scenario 2b (kg)
Compostable Waste	86 (345)	145	96,6	170	113
Residual Waste	151 (191)	80,200	53,500	94,000	62,600
Recyclable	85 (338)	142,000	94,600	166,000	111,000
Wastewater	140 (560)	85,800,000	57,200,000	101,000,000	67,000,000

Neighborhood PV Production				
	Scenario 1a (kg)	Scenario 1b (kg)	Scenario 2a (kg)	Scenario 2b (kg)
Collector area per dwelling	80.4	80.4	54.4	54.4
MWh per dwelling	15.5	15.5	10.5	10.5
MWh total neighbourhood	6,510	4,340	5,170	3,440

Energy Content of Residual Solid Waste Stream							
Waste Type	HHV (MJ/kg)-	% In Residual Waste Stream-	Energy Content (MJ)				
			Scenario 1a (kg)	Scenario 1b (kg)	Scenario 2a (kg)	Scenario 2b (kg)	
Paper	13.1	2	21,000	14,000	24,600	16,400	
Plastic	33.5	18	484,000	322,000	567,000	378,000	
Other Materials /w Heating Value [^]	10	25	201,000	134,000	235,000	157,000	
Other Materials w/o Heating Value	0	65	0	0	0	0	
Total			705,000	470,000	826,000	551,000	

Potential Energy Production from Waste Sources				
	Scenario 1a (kg)	Scenario 1b (kg)	Scenario 2a (kg)	Scenario 2b (kg)
Residual Solid Waste				
Heat (MWh/year)	66,4	44,3	77,8	51,9
Electricity (MWh/year)	52,9	35,3	62	41,3
E/Q	0,8	0,8	0,8	0,8
Organic Solid Waste				
Heat (MWh/year)	161	107	189	126
Electricity (MWh/year)	141	93,9	165	110
E/Q	0,9	0,9	0,9	0,9
Wastewater				
Electricity (MWh/year)	26,3	17,5	30,8	20,5

[7] Robert Stupka and Christopher Kennedy. *Impact of Neighborhood Density on Building Energy Demand and Potential Supply via the Urban Metabolism*. University of Toronto. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2010

Annual final operation energy use of cumulatively applied energy efficiency measures.

Applied end-use energy efficiency measures	End-use energy (kWh/m ² year)					
	Space heating	Tap water heating	Ventilation electricity	Household/facility electricity	Total	E/Q
Initial	94,2	25	2,3	44,8	166,3	0,4
Improved taps	94,2	15	2,3	44,8	156,3	0,4
Improved windows & doors	69,6	15	2,3	44,8	131,7	0,6
Additional roof insulation	66,6	15	2,3	44,8	128,7	0,6
Additional external walls insulation	60,9	15	2,3	44,8	123	0,6
Ventilation heat recovery	25,2	15	12,5	44,8	97,5	1,4

Incremento de E/Q

[8] L. Gustavssona,b, A. Dodoob,*, N.L. Truongb, I. Danielskib. *Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings*. Energy and Buildings 43 (2011) 38–48

Effects of cumulatively applied energy efficiency measures on heat demand, electricity use and cogenerated electricity (MWh/year).

Applied end-use energy efficiency measures	Reduced heat demand	Increased electricity use	Reduced cogenerated electricity					
			Reference	No tax	Swedish tax	Social cost- 550ppj/Social cost- BAU		
Improved taps	11.9	–	3.2	1.5	2.1	1.8	2.0	
Improved windows & doors	41.2	–	11.4	3.1	6.3	5.1	6.0	
Additional roof insulation	44.8	–	12.3	3.2	6.7	5.4	6.3	
Additional external walls insulation	51.7	–	14.3	3.5	7.8	6.2	7.3	
Ventilation heat recovery	94.1	–	13	25.8	4.3	12.3	9.3	11.4

[8] L. Gustavssona,b, A. Dodoob,*, N.L. Truongb, I. Danielskib. *Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings*. Energy and Buildings 43 (2011) 38–48

Primary energy used by different production units for heating the case-study building without energy efficiency measures, and cogenerated electricity

District heat production	Primary energy use of case-study building		Cogenerated electricity (MWh)
	MWh	%	
Reference			
CHP-BST	181.9	94.4	52.7
Boiler-biomass	9.6	5.0	–
Boiler-biomass	1.1	0.6	–
Total	192.6	100	52.7
No tax			
CHP-CST	187.9	74.1	50.3
Boiler-coal	50.8	20.0	–
Boiler-oil	14.9	5.9	–
Total	253.6	100	50.3
Swedish tax			
CHP-BST	161.6	86.0	46.8
Boiler-biomass	22.6	12.0	–
Boiler-oil	3.7	2.0	–
Total	188.0	100	46.8
Social cost- 550ppm			
CHP-BST	155.3	82.9	45.0
Boiler-biomass	23.6	12.6	–
Boiler-oil	8.4	4.5	–
Total	187.3	100	45.0
Social cost- BAU			
CHP-BST	159.2	84.8	46.1
Boiler-biomass	23.3	12.4	–
Boiler-oil	5.2	2.8	–
Total	187.6	100	–

[8] L. Gustavssona,b, A. Dodoob,*, N.L. Truongb, I. Danielskib. *Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings*. Energy and Buildings 43 (2011) 38–48

Primary energy balance (MWh/year) of cumulatively applied energy efficiency measures if CHP-BIGCC technology is used for base load production.

Description	Improved taps	Improved windows and doors	Additional roof insulation	Additional external walls insulation	Ventilation heat recovery
Swedish tax					
Reduced district heat production					
CHP-BIGCC	9.3	24.1	25.2	28.7	40.5
Boiler-biomass	6.4	22.8	25.0	28.9	56.0
Boiler-oil	1.1	7.4	8.3	9.8	19.9
Increased electricity use	–	–	–	–	31.0
Reduced cogenerated electricity	9.2	23.8	24.9	28.4	40.1
Primary energy savings	7.6	30.4	33.5	38.9	45.3
Social cost- 550ppm					
Reduced district heat production					
CHP-BIGCC	8.9	22.6	23.6	26.8	37.3
Boiler-biomass	5.4	18.3	19.9	23.0	44.0
Boiler-oil	2.6	14.1	15.8	18.4	37.2
Increased electricity use	–	–	–	–	31.0
Reduced cogenerated electricity	8.8	22.4	23.3	26.6	36.9
Primary energy savings	8.1	32.6	35.9	41.7	50.6
Social cost- BAU					
Reduced district heat production					
CHP-BIGCC	9.6	25.5	26.7	30.5	43.6
Boiler-biomass	5.9	20.0	22.0	25.3	48.9
Boiler-oil	1.6	10.2	11.4	13.4	27.3
Increased electricity use	–	–	–	–	29.9
Reduced cogenerated electricity	9.2	24.4	25.5	29.2	41.7
Primary energy savings	7.9	31.4	34.5	40.0	48.2

[8] L. Gustavssona,b, A. Dodoob,*, N.L. Truongb, I. Danielskib. *Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings*. Energy and Buildings 43 (2011) 38–48

Values of variables and potential for each factor considered in the DG ranking

Factor	Large hospitals		Standard hotels		Big offices		Small offices	
	Northern Europe		Northern Europe		Northern Europe		Southern Europe	
	Variable	Potential	Variable	Potential	Variable	Potential	Variable	Potential
Thermal demand coincidence	0.87	0.87	0.95	0.95	0.84	0.84	0.58	0.58
Day/night use (%)	64	0.75	58	0.50	67	0.75	77	0.75
E/Q	0.88	1.00	0.24	0.65	0.03	0.65	0.40	0.65
Load factor	0.74	0.75	0.79	0.75	0.75	0.75	0.55	0.50
Power quality	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00
Power reliability	2.5	1.00	3.7	1.00	1.2	1.00	0.00	0.50
Power size	1250	1.00	82	0.50	63	0.50	9.9	0.30
Renewable energy	0.90	0.90	0.70	0.70	0.50	0.50	0.60	0.60
Thermal demand regularity	0.43	0.50	0.41	0.50	0.22	0.50	0.09	0.50
Utilization	6600	1.00	8100	1.00	4700	0.75	3650	0.75

[9] D. Alfonso *, A. Pérez-Navarro, N. Encinas, C. Álvarez, J. Rodríguez, M. Alcázar. *Methodology for ranking customer segments by their suitability for distributed energy resources applications*. Energy Conversion and Management 48 (2007) 1615–1623

Las siguientes figuras muestran un método desarrollado para estimar los perfiles de E y Q tomando en cuenta la nueva oferta energética, así como un método para la agregación de los perfiles, este se ha realizado por:

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems*. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

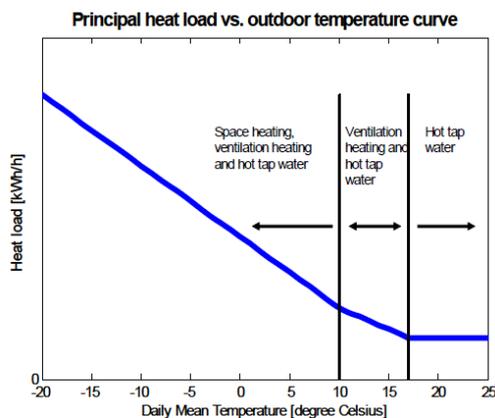


Figura 2.10. La siguiente figura muestra el perfil Q vs la temperatura exterior de un edificio o una zona de planeación específica. Esta figura proporciona una perspectiva de los rangos de temperatura en la cual se producen distintos usos finales. (Pedersen et al. 2008) [10].

Parámetros físicos

Parámetros físicos	Comentario
Año de construcción	Año en que comenzó la construcción del edificio
Rehabilitación	Rehabilitación a gran escala envolvente e instalaciones del edificio
Área disponible	Área disponible del edificio
Número de edificios	Uno o más edificios incluidos en el cálculo de los sistemas
Forma	Cuadrado, rectángulo, etc.
Material de construcción	Ladrillo, vidrio, madera, etc., que influyen en la constante de tiempo de los edificios
Nivel de aislamiento	Paredes exteriores, piso y techo, así como ventanas y puertas.
Número de fachadas libres	Muros exteriores no conectados con otro edificio.
Calefacción por suelo	Sistema eléctrico o hidráulico
Radiadores	Montados en la pared calentadores hidrónicos
Batería de calefacción	Calefacción hidrónica o equipos eléctricos en el sist. Ventilación
Rendimiento térmico	Rendimiento de la unidad de Recuperación de calor de los sistemas de ventilación
ACS	Calefacción directa o depósito acumulador
Protecciones solares	Persianas, toldos, cortinas, etc.

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems*. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Name	Number
Regular day	0
Summer holiday	1
Fall break	2
Christmas holiday	3
Winter break	4
Easter (the whole week)	5
Others	6

Figura 2.11. Clasificación de los días especiales relacionados con la función de edificios educativos. (Pedersen et al. 2008) [10].

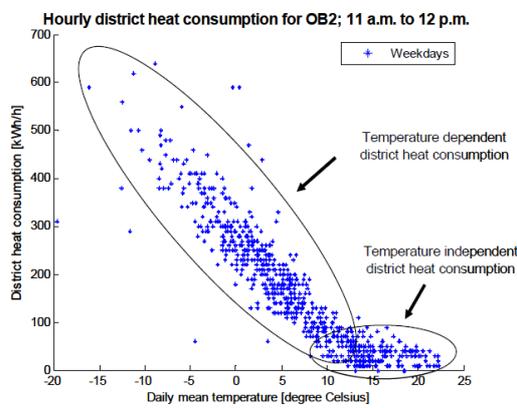


Figura 2.11. El diagrama evidencia la dispersión de la temperatura media diaria vs. el consumo de district heat/ hora de un edificio ejemplo (oficinas) en Trondheim (Noruega). Muestra el consumo de calefacción urbana de las 11 a.m. a las 12 p.m. durante un periodo de cinco años (enero de 2002 - octubre de 2006). La estación dependiente de la temperatura comienza en un rango de temperatura de entre 15 °C a 9 °C. (Pedersen et al. 2008) [10].

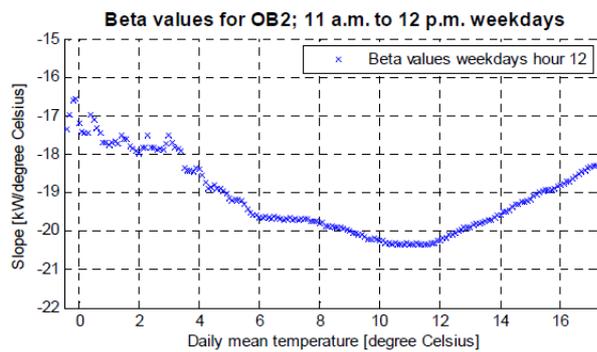


Figura 2.12. La grafica muestra los valores beta de un edificio ejemplo (oficinas), trazado para el periodo dependiente de la temperatura exterior, suponiendo que este comienza a 17°C disminuye a 0°C, con un decremento de temperatura de 0.1. (Pedersen et al. 2008) [10]

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,* , Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

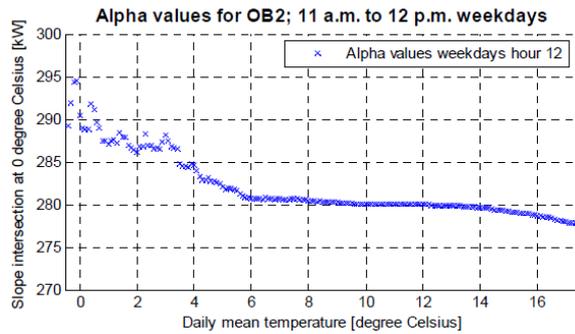


Figura 2.13. La grafica muestra los valores alfa de un edificio ejemplo (oficinas), trazado para el periodo dependiente de la temperatura exterior, suponiendo que este comienza a 17°C y disminuye a 0°C, con un decremento de temperatura de 0,1 ° C. (Pedersen et al. 2008) [10].

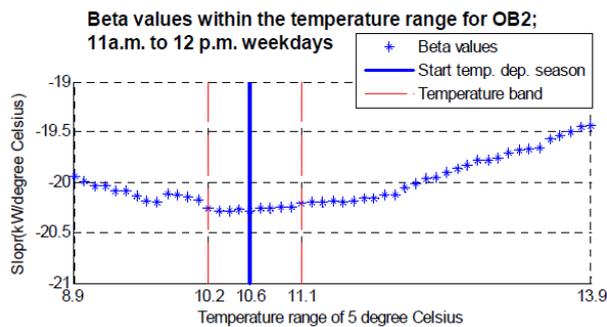


Figura 2.14. La grafica muestra los valores beta trazados dentro del rango de temperatura de 5 ° C marcado por el mínimo de la suma de alfa al cuadrado. La banda de temperatura viene dada por las líneas de puntos mientras el inicio del periodo dependiente de la temperatura exterior viene dado por la línea continua. (Pedersen et al. 2008) [10].

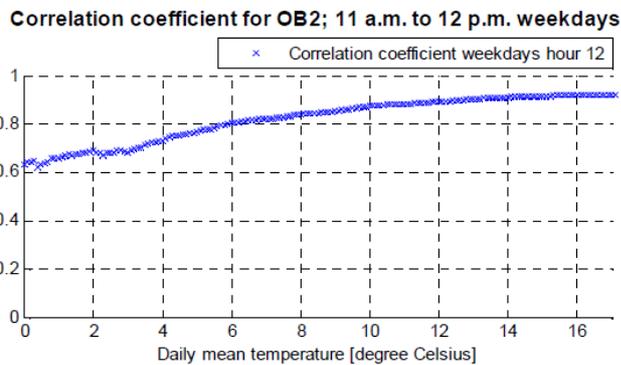


Figura 2.15. La figura evidencia el valor absoluto del coeficiente de correlación para los puntos de datos graficado para la estación dependiente de la temperatura exterior asumiendo que esta comienza a 17 ° C y disminuye a 0 ° C con un decremento de temperatura de 0,1 ° C. (Pedersen et al. 2008) [10].

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,* , Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

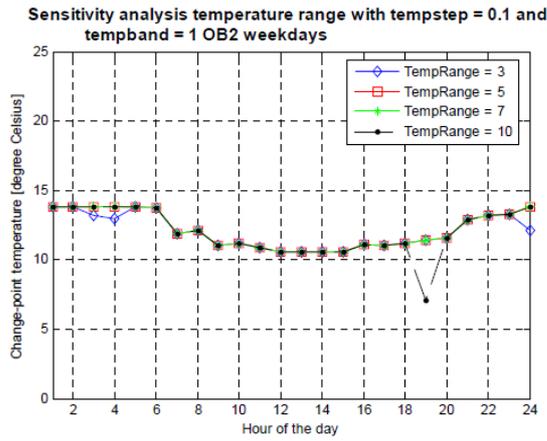


Figura 2.16. La figura evidencia la estación dependiente de la temperatura exterior para distintos rangos de temperatura calculados con un incremento constante de temperatura y con un rango de temperatura para los días laborales en el edificio. (Pedersen et al. 2008) [10].

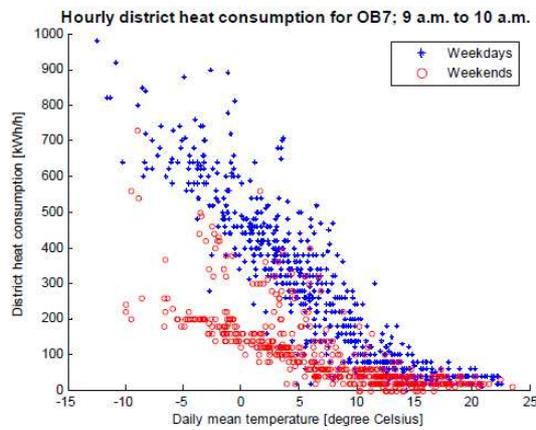


Figura 2.17. Diagrama de dispersión para el consumo horario del edificio ejemplo de 9a.m a 10 a.m tanto para los días laborales como fines de semana. (Pedersen et al. 2008) [10].

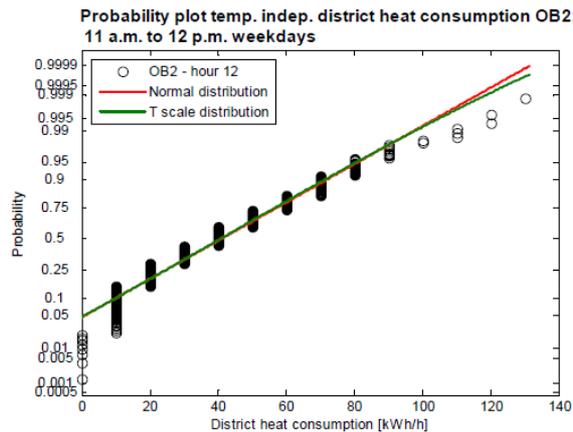


Figura 2.18. La grafica muestra la probabilidad para los días laborales del edificio ejemplo desde las 11 a.m. hasta las 12 p.m, incluyendo una distribución normal ajustada y distribuciones t de Student. Ambas distribuciones muestran un buen ajuste para todos los edificios, y, como consecuencia, la distribución normal se aplica para todas las horas para modelo de carga de calor independiente de la temperatura. Esto implica que todos los edificios tienen más de 30 mediciones para diferentes horas durante la estación independiente de la temperatura. (Pedersen et al. 2008) [10].

Perfil eléctrico basado en la distribución de probabilidad

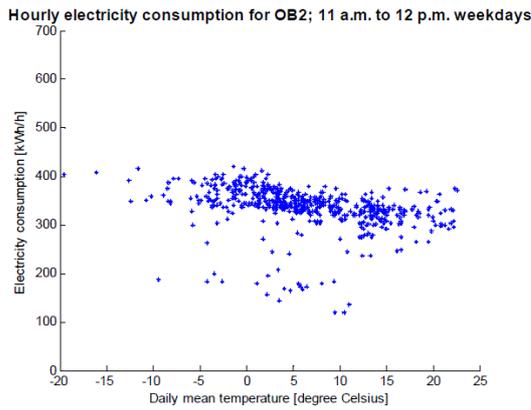


Figura 2.19. Diagrama de dispersión de la temperatura media diaria en función del consumo de electricidad para el edificio ejemplo en Trondheim, durante los días laborales. Es decir, el consumo de electricidad a partir de 11 a.m hasta 12 p.m. a lo largo de un período de cuatro años (2002-2005). (Pedersen et al. 2008) [10].

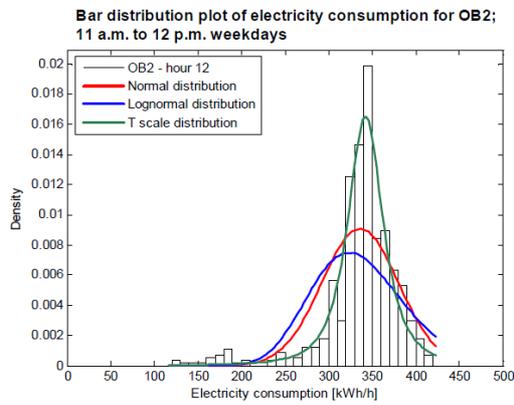


Figura 2.20. La figura muestra un gráfico de barras del consumo de electricidad para el edificio ejemplo durante los días laborales en un periodo de 12 horas, junto con las distribuciones normal, lognormal y de la t de Student ajustadas a los datos medidos. (Pedersen et al. 2008) [10]

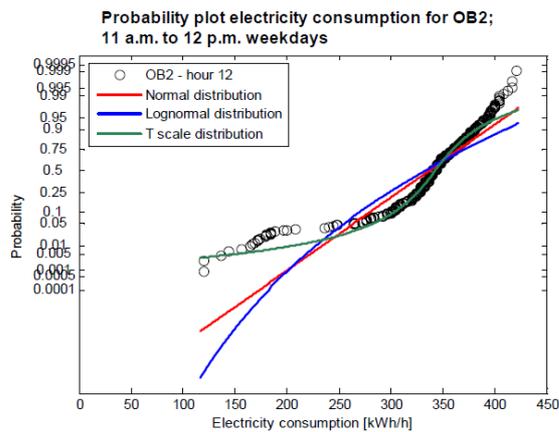


Figura 2.21. Gráfico de probabilidad del perfil E horario para días laborales y edificio ejemplo calculado entre 11 am y 12 p.m. La bondad del ajuste se muestran para las distribuciones normal, lognormal y de Student. (Pedersen et al. 2008) [10]

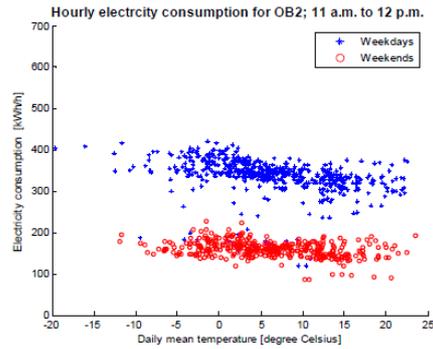


Figura 2.22. Diagrama de dispersión para el perfil E horario del edificio ejemplo y por 12 horas (desde las 11 de la mañana hasta las 12 p.m.) tanto para los días laborables como para los fines de semana. (Pedersen et al. 2008) [10]

Building category	DH coincidence factor	EL coincidence factor
Single family houses and apartment blocks (SH and AB)	0.2641	0.387
Clusters (ap. 10 buildings) single family houses and apartment blocks	0.711	0.844
Office building (OB)	0.836	0.811
Hospital building (HB)	0.945	0.763
Hotel and restaurants (HR)	0.867	0.969
Educational buildings (EB) -AT1	0.768	0.649
Educational buildings (EB) -AT2	0.816	

Figura 2.23. Factores de coincidencia DH y EL basados en mediciones reales para todas las categorías analizadas en este estudio. (Pedersen et al. 2008) [10]

Building category	DH weekdays	DH weekdays	DH weekends	DH weekends
	Specific load [W/m ²] (hour)	Specific STD [W/m ²]	Specific load [W/m ²] (hour)	Specific STD [W/m ²]
SH and AB(dust)	46.0 (7 a.m.)	5.2	44.7 (10 a.m.)	7.4
OB	55.6 (8 a.m.)	5.0	44.5 (10 a.m.)	7.0
EB - AT1	61.3 (9 a.m.)	6.0	34.0 (7 a.m.)	5.9
EB - AT2	81.3 (8 a.m.)	8.5	29.2 (7 a.m.)	6.5
HB	64.0 (10 a.m.)	4.2	59.4 (9 a.m.)	5.1
HR	42.6 (8 a.m.)	5.3	41.1 (10 a.m.)	7.0

Figura 2.24. Valores de Q específicos y sus relativas desviaciones estándar tanto para días laborables como para fines de semana para diversas categorías de edificios. (Pedersen et al. 2008) [10]

Building category	EL weekdays	EL weekdays	EL weekdays	EL weekdays
	Specific load [W]	Standard deviation	Specific load [W]	Standard deviation
SH and AB (clusters)	10.5 (9 p.m.)	1.7	10.3 (8 p.m.)	2.1
OB	23.8 (12 a.m.)	3.2	13.0 (5 p.m.)	1.9
EB	19.6 (11 a.m.)	5.9	6.3 (6 p.m.)	2.9
HB	23.1 (1 p.m.)	1.6	20.2 (1 p.m.)	1.4
HR	16.3 (9 a.m.)	2.3	15.9 (10 a.m.)	2.7

Figura 2.25. Valores de E específicos y sus relativas desviaciones estándar para días laborables y fines de semana para diversas categorías de edificios. (Pedersen et al. 2008) [10]

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Las siguientes figuras evidencian los valores máximos específicos de E y Q de edificios y grupo de edificios, incluyendo intervalos de desviación estándar.

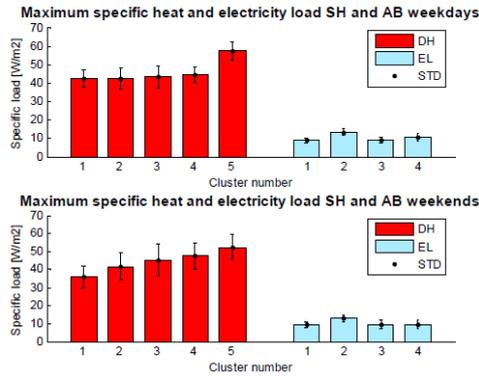


Figura 2.26. Las figuras evidencian los valores máximos específicos de E y Q de edificios y grupo de edificios, incluyendo intervalos de desviación estándar. (Pedersen et al. 2008) [10]

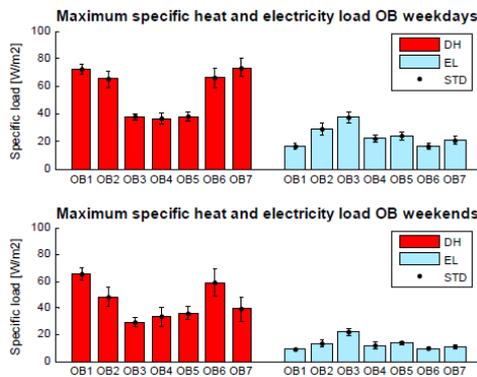


Figura 2.27. Valores de Q específico y E máxima, incluyendo intervalos de desviación estándar para cada tipo de oficina analizado para ambos días tipos. (Pedersen et al. 2008) [10]

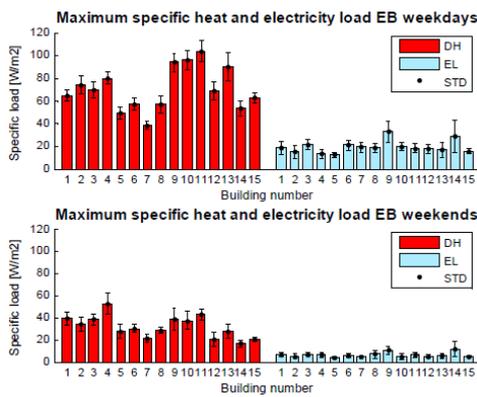


Figura 2.28. Valores de Q específico y E máxima, incluyendo intervalos de desviación estándar para cada centro educativo analizado para ambos días tipos. (Pedersen et al. 2008) [10]

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

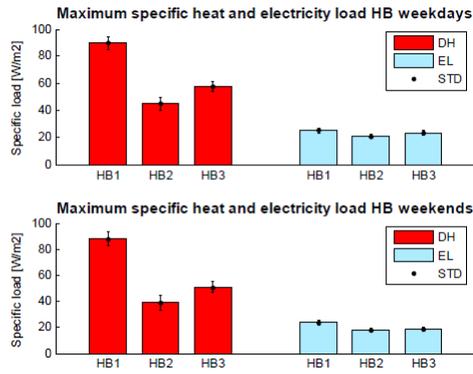


Figura 2.29. Valores de Q específico y E máxima, incluyendo intervalos de desviación estándar para cada tipo de centro de salud analizado para ambos días tipos. (Pedersen et al. 2008) [10]

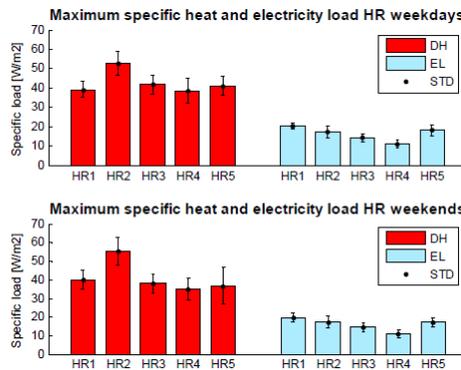


Figura 2.30. Valores de Q específico y E máxima, incluyendo intervalos de desviación estándar para cada hotel y restaurant analizado para ambos días tipos. (Pedersen et al. 2008) [10]

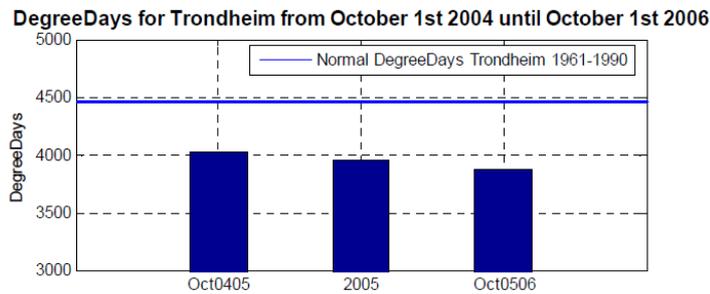


Figura 2.31. La figura muestra los Grados día en Trondheim (Noruega) para los períodos: 1 de octubre de 2004 hasta 1 de octubre de 2005; 1 de enero de 2005 hasta 1 enero de 2006; y 1 de octubre de 2005 hasta 1 de octubre de 2006. Los grados días normales para Trondheim, basados en el periodo climático desde 1961 hasta 1990, se indican también en la grafica. (Pedersen et al. 2008) [10]

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Temperature-independent amount of
annual heat consumption

From PBL	Older	1987	1997
Office buildings	0.093	0.120	0.175
Educational buildings	0.119	0.153	0.224
Hospitals	0.234	0.253	0.328
Hotels and restaurants ¹	0.259	0.294	0.455
Single family houses ²	0.173	0.211	0.359
Apartment blocks	0.280	0.319	0.484

Figura 2.3. La tabla muestra el consumo anual de calor independiente de la temperatura sobre la base del consumo de agua caliente sanitaria (Enok Normtall, 2004). (Pedersen et al. 2008) [10]

Building category	Number	Average available area [m2]
Single family houses	100	140
Apartment blocks	200	80
Office buildings	5	5000
Schools	3	4000
Hospitals (nursing hom	2	5000
Hotels and restaurants	1	6000

Figura 2.6. La tabla muestra número de edificios situados dentro del área virtual de desarrollo incluyendo superficie media disponible para todas las categorías considerada. (Pedersen et al. 2008) [10]

A continuación se presentan perfiles de E y Q que incluyen las variables de: desviación estándar y las temperaturas de cambio de punto (CTP).

Hour	Single family house and apartment block heat load model										
	Weekdays (CPT = 9,7 degree Celsius)					Weekends (CPT = 10,6 degree Celsius)					
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	
1		0,61	-0,035	0,176	0,215	0,143	0,638	-0,038	0,271	0,163	0,092
2		0,62	-0,037	0,154	0,151	0,097	0,643	-0,042	0,255	0,157	0,084
3		0,632	-0,038	0,151	0,154	0,098	0,65	-0,042	0,27	0,167	0,112
4		0,637	-0,039	0,161	0,169	0,114	0,647	-0,041	0,262	0,161	0,099
5		0,649	-0,039	0,154	0,173	0,096	0,661	-0,041	0,259	0,178	0,103
6		0,678	-0,029	0,164	0,28	0,127	0,672	-0,042	0,254	0,14	0,087
7		0,891	-0,042	0,201	0,28	0,144	0,685	-0,037	0,246	0,182	0,091
8		0,899	-0,04	0,226	0,292	0,175	0,769	-0,042	0,28	0,274	0,145
9		0,822	-0,039	0,219	0,262	0,141	0,829	-0,038	0,312	0,335	0,189
10		0,759	-0,037	0,233	0,281	0,172	0,861	-0,042	0,31	0,328	0,172
11		0,728	-0,034	0,222	0,24	0,153	0,862	-0,04	0,313	0,274	0,186
12		0,704	-0,032	0,238	0,214	0,144	0,768	-0,032	0,335	0,289	0,175
13		0,66	-0,029	0,226	0,209	0,131	0,737	-0,032	0,304	0,247	0,172
14		0,598	-0,023	0,221	0,207	0,144	0,694	-0,027	0,306	0,239	0,142
15		0,568	-0,018	0,203	0,241	0,14	0,668	-0,023	0,33	0,248	0,185
16		0,594	-0,02	0,218	0,264	0,138	0,672	-0,03	0,296	0,217	0,107
17		0,636	-0,021	0,216	0,251	0,145	0,707	-0,034	0,318	0,228	0,134
18		0,672	-0,026	0,215	0,226	0,131	0,686	-0,028	0,299	0,226	0,129
19		0,673	-0,031	0,208	0,254	0,142	0,665	-0,028	0,305	0,273	0,156
20		0,681	-0,031	0,235	0,29	0,165	0,718	-0,036	0,296	0,197	0,101
21		0,644	-0,032	0,185	0,216	0,115	0,652	-0,035	0,269	0,21	0,129
22		0,641	-0,033	0,182	0,212	0,112	0,63	-0,032	0,306	0,231	0,133
23		0,625	-0,033	0,195	0,249	0,15	0,613	-0,032	0,261	0,191	0,102
24		0,635	-0,036	0,196	0,204	0,124	0,591	-0,028	0,257	0,167	0,103

Perfiles Térmicos

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Eléctricos

Single family house and apartment block heat load model

Hour	Weekdays						Weekends					
	Winter	Spring/ fall		Winter STD	Summer		Winter	Spring/ fall		Winter STD	Summer	
		Summer	STD		STD	STD		Summer	STD		STD	
1	0,674	0,586	0,507	0,156	0,113	0,123	0,826	0,689	0,574	0,166	0,178	0,178
2	0,548	0,513	0,447	0,101	0,076	0,073	0,643	0,577	0,497	0,135	0,138	0,138
3	0,516	0,505	0,438	0,08	0,069	0,069	0,578	0,534	0,46	0,116	0,097	0,097
4	0,509	0,505	0,435	0,07	0,066	0,065	0,547	0,515	0,442	0,103	0,074	0,074
5	0,505	0,505	0,431	0,072	0,066	0,064	0,53	0,512	0,437	0,073	0,068	0,068
6	0,51	0,537	0,463	0,074	0,079	0,064	0,525	0,51	0,443	0,065	0,066	0,066
7	0,613	0,681	0,57	0,094	0,125	0,114	0,533	0,563	0,497	0,066	0,103	0,103
8	0,81	0,827	0,682	0,147	0,163	0,158	0,644	0,732	0,623	0,112	0,14	0,14
9	0,93	0,888	0,743	0,177	0,189	0,208	0,927	0,967	0,79	0,195	0,195	0,195
10	0,988	0,872	0,748	0,217	0,203	0,23	1,195	1,131	0,909	0,235	0,269	0,269
11	0,952	0,836	0,737	0,237	0,207	0,219	1,258	1,108	0,913	0,245	0,284	0,284
12	0,928	0,832	0,71	0,252	0,208	0,216	1,276	1,084	0,887	0,301	0,316	0,316
13	0,909	0,82	0,702	0,244	0,215	0,204	1,265	1,059	0,871	0,302	0,322	0,322
14	0,904	0,815	0,709	0,237	0,217	0,208	1,231	1,069	0,88	0,306	0,303	0,303
15	0,956	0,921	0,82	0,23	0,248	0,245	1,292	1,103	0,931	0,322	0,341	0,341
16	1,155	1,075	0,926	0,27	0,275	0,258	1,412	1,162	0,971	0,35	0,362	0,362
17	1,427	1,206	1,014	0,278	0,296	0,345	1,46	1,217	0,995	0,359	0,363	0,363
18	1,521	1,233	1,052	0,287	0,318	0,381	1,5	1,273	1,047	0,349	0,37	0,37
19	1,556	1,308	1,08	0,28	0,324	0,392	1,533	1,368	1,063	0,327	0,35	0,35
20	1,582	1,396	1,13	0,257	0,293	0,372	1,581	1,435	1,089	0,334	0,382	0,382
21	1,607	1,417	1,142	0,273	0,299	0,376	1,545	1,41	1,06	0,327	0,374	0,374
22	1,536	1,323	1,066	0,244	0,26	0,323	1,419	1,275	0,983	0,26	0,325	0,325
23	1,344	1,109	0,923	0,228	0,238	0,294	1,265	1,059	0,855	0,218	0,269	0,269
24	1,021	0,825	0,696	0,194	0,212	0,25	1,004	0,813	0,683	0,187	0,213	0,213

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Térmicos

Office building heat load model

Hour	Weekdays (CPT =11,0 degree Celsius)					Weekends (CPT = 11,6 degree Celsius)				
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD
1	0,385	-0,024	0,098	0,07	0,057	0,407	-0,025	0,159	0,073	0,057
2	0,389	-0,024	0,097	0,073	0,059	0,412	-0,025	0,162	0,077	0,062
3	0,393	-0,023	0,101	0,082	0,064	0,41	-0,025	0,158	0,073	0,058
4	0,396	-0,023	0,096	0,083	0,061	0,409	-0,025	0,15	0,067	0,051
5	0,398	-0,023	0,093	0,08	0,059	0,408	-0,025	0,159	0,086	0,065
6	0,418	-0,024	0,102	0,093	0,066	0,409	-0,025	0,159	0,085	0,063
7	0,513	-0,031	0,106	0,098	0,075	0,409	-0,025	0,151	0,068	0,056
8	0,586	-0,034	0,115	0,121	0,092	0,417	-0,026	0,153	0,074	0,06
9	0,57	-0,035	0,111	0,112	0,081	0,408	-0,027	0,151	0,065	0,051
10	0,549	-0,035	0,113	0,098	0,074	0,414	-0,028	0,154	0,067	0,056
11	0,527	-0,035	0,111	0,092	0,074	0,403	-0,028	0,157	0,066	0,056
12	0,508	-0,035	0,111	0,083	0,063	0,385	-0,027	0,164	0,07	0,059
13	0,491	-0,034	0,108	0,076	0,061	0,367	-0,025	0,168	0,07	0,057
14	0,48	-0,034	0,111	0,076	0,06	0,362	-0,025	0,165	0,065	0,056
15	0,47	-0,034	0,109	0,069	0,052	0,358	-0,025	0,164	0,06	0,05
16	0,463	-0,034	0,11	0,063	0,046	0,356	-0,026	0,158	0,05	0,039
17	0,43	-0,033	0,111	0,056	0,044	0,366	-0,026	0,159	0,049	0,04
18	0,413	-0,031	0,111	0,059	0,049	0,375	-0,028	0,157	0,048	0,039
19	0,403	-0,029	0,104	0,055	0,045	0,383	-0,027	0,154	0,045	0,04
20	0,375	-0,027	0,102	0,06	0,049	0,392	-0,027	0,152	0,044	0,037
21	0,374	-0,026	0,097	0,054	0,044	0,398	-0,027	0,16	0,05	0,044
22	0,375	-0,025	0,096	0,057	0,046	0,404	-0,027	0,166	0,058	0,055
23	0,376	-0,024	0,096	0,06	0,046	0,407	-0,026	0,163	0,059	0,055
24	0,379	-0,024	0,1	0,067	0,052	0,41	-0,026	0,163	0,063	0,057

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Eléctricos

Office building electricity load model

Hour	Weekdays						Weekends					
	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD	
1	0,689	0,688	0,697	0,101	0,115	0,152	0,711	0,701	0,709	0,225	0,27	0,194
2	0,68	0,678	0,686	0,102	0,116	0,147	0,699	0,69	0,701	0,22	0,267	0,195
3	0,674	0,675	0,68	0,102	0,115	0,14	0,692	0,694	0,697	0,22	0,367	0,193
4	0,672	0,673	0,675	0,102	0,117	0,153	0,686	0,679	0,691	0,219	0,259	0,199
5	0,673	0,674	0,673	0,101	0,117	0,148	0,686	0,676	0,689	0,218	0,257	0,196
6	0,701	0,702	0,68	0,101	0,123	0,157	0,678	0,671	0,686	0,216	0,254	0,19
7	0,88	0,876	0,844	0,099	0,107	0,129	0,671	0,664	0,679	0,219	0,262	0,189
8	1,109	1,103	1,041	0,127	0,145	0,165	0,676	0,677	0,681	0,224	0,275	0,19
9	1,33	1,321	1,209	0,174	0,196	0,206	0,688	0,686	0,684	0,222	0,285	0,19
10	1,422	1,403	1,265	0,201	0,206	0,209	0,72	0,716	0,692	0,245	0,284	0,193
11	1,442	1,421	1,286	0,191	0,208	0,219	0,733	0,729	0,7	0,245	0,294	0,193
12	1,448	1,428	1,301	0,193	0,215	0,229	0,742	0,741	0,703	0,249	0,302	0,197
13	1,441	1,426	1,299	0,196	0,212	0,236	0,741	0,749	0,706	0,245	0,307	0,2
14	1,432	1,42	1,283	0,196	0,213	0,244	0,747	0,753	0,707	0,252	0,309	0,203
15	1,396	1,385	1,25	0,19	0,208	0,245	0,751	0,756	0,708	0,254	0,31	0,203
16	1,312	1,299	1,159	0,176	0,196	0,247	0,752	0,754	0,706	0,256	0,313	0,207
17	1,131	1,126	1,016	0,15	0,175	0,238	0,755	0,754	0,711	0,256	0,32	0,207
18	0,943	0,947	0,853	0,139	0,169	0,242	0,754	0,745	0,707	0,249	0,308	0,202
19	0,864	0,871	0,792	0,134	0,162	0,244	0,744	0,738	0,701	0,24	0,299	0,201
20	0,809	0,806	0,761	0,127	0,145	0,204	0,735	0,729	0,699	0,24	0,291	0,198
21	0,775	0,774	0,746	0,12	0,139	0,193	0,728	0,721	0,698	0,234	0,278	0,198
22	0,748	0,746	0,732	0,115	0,133	0,184	0,721	0,714	0,698	0,227	0,273	0,198
23	0,722	0,719	0,721	0,107	0,123	0,168	0,71	0,706	0,698	0,218	0,267	0,196
24	0,706	0,704	0,712	0,103	0,121	0,16	0,704	0,7	0,697	0,213	0,262	0,191

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Térmicos

Educational building heat load model Archetype 1

Hour	Weekdays (CPT = 11,4 degree Celsius)					Weekends (CPT = 13,7 degree Celsius)				
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD
1	0,357	-0,021	0,089	0,091	0,053	0,349	-0,019	0,121	0,065	0,031
2	0,361	-0,021	0,088	0,101	0,053	0,351	-0,019	0,123	0,082	0,031
3	0,368	-0,022	0,089	0,099	0,054	0,354	-0,019	0,127	0,077	0,039
4	0,379	-0,022	0,09	0,098	0,054	0,357	-0,02	0,121	0,074	0,032
5	0,397	-0,023	0,092	0,097	0,053	0,359	-0,02	0,128	0,081	0,039
6	0,445	-0,025	0,1	0,102	0,058	0,364	-0,02	0,127	0,079	0,039
7	0,609	-0,034	0,132	0,129	0,076	0,366	-0,021	0,13	0,086	0,044
8	0,658	-0,036	0,138	0,161	0,093	0,363	-0,02	0,121	0,07	0,029
9	0,656	-0,038	0,137	0,144	0,081	0,358	-0,021	0,123	0,07	0,029
10	0,633	-0,037	0,134	0,137	0,077	0,348	-0,021	0,139	0,077	0,04
11	0,619	-0,037	0,133	0,123	0,069	0,335	-0,02	0,131	0,069	0,032
12	0,605	-0,037	0,133	0,12	0,065	0,326	-0,019	0,124	0,062	0,027
13	0,581	-0,037	0,129	0,114	0,065	0,322	-0,019	0,125	0,059	0,023
14	0,567	-0,036	0,129	0,11	0,06	0,319	-0,019	0,133	0,064	0,03
15	0,573	-0,037	0,136	0,113	0,062	0,321	-0,02	0,135	0,063	0,031
16	0,49	-0,031	0,123	0,099	0,055	0,322	-0,02	0,133	0,061	0,028
17	0,403	-0,025	0,122	0,085	0,055	0,328	-0,02	0,13	0,062	0,03
18	0,374	-0,023	0,115	0,083	0,048	0,333	-0,02	0,134	0,062	0,031
19	0,366	-0,023	0,104	0,078	0,043	0,339	-0,02	0,125	0,059	0,026
20	0,367	-0,023	0,099	0,085	0,051	0,343	-0,02	0,124	0,058	0,026
21	0,369	-0,023	0,092	0,082	0,049	0,349	-0,021	0,131	0,065	0,037
22	0,369	-0,022	0,093	0,09	0,054	0,351	-0,02	0,123	0,066	0,039
23	0,336	-0,02	0,089	0,09	0,053	0,35	-0,02	0,122	0,062	0,029
24	0,345	-0,02	0,088	0,087	0,049	0,354	-0,02	0,122	0,063	0,028

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. *Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems.* Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Educational building heat load model Archetype 2											Perfiles Térmicos
Hour	Weekdays (CPT = 12,0 degree Celsius)					Weekends (CPT = 13,1 degree Celsius)					
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	
1	0,249	-0,012	0,065	0,09	0,044	0,261	-0,012	0,114	0,094	0,04	
2	0,254	-0,013	0,06	0,09	0,041	0,251	-0,012	0,108	0,095	0,037	
3	0,263	-0,013	0,059	0,09	0,044	0,247	-0,012	0,108	0,092	0,044	
4	0,296	-0,013	0,122	0,111	0,075	0,245	-0,012	0,105	0,091	0,037	
5	0,287	-0,014	0,086	0,102	0,055	0,246	-0,012	0,102	0,092	0,039	
6	0,337	-0,018	0,093	0,102	0,056	0,248	-0,012	0,106	0,089	0,038	
7	0,734	-0,045	0,186	0,124	0,087	0,3	-0,016	0,125	0,089	0,043	
8	0,867	-0,051	0,192	0,131	0,073	0,279	-0,015	0,114	0,081	0,036	
9	0,849	-0,05	0,186	0,131	0,079	0,277	-0,015	0,11	0,077	0,031	
10	0,798	-0,048	0,171	0,112	0,066	0,266	-0,015	0,109	0,072	0,032	
11	0,764	-0,047	0,163	0,11	0,063	0,26	-0,014	0,107	0,062	0,029	
12	0,723	-0,046	0,158	0,108	0,062	0,255	-0,013	0,11	0,07	0,028	
13	0,689	-0,044	0,165	0,113	0,068	0,257	-0,014	0,117	0,067	0,035	
14	0,689	-0,045	0,159	0,104	0,059	0,258	-0,014	0,117	0,063	0,025	
15	0,669	-0,044	0,16	0,098	0,057	0,262	-0,014	0,119	0,062	0,026	
16	0,574	-0,037	0,146	0,084	0,041	0,267	-0,015	0,124	0,062	0,028	
17	0,425	-0,028	0,132	0,084	0,043	0,272	-0,015	0,122	0,062	0,028	
18	0,317	-0,018	0,118	0,08	0,04	0,277	-0,015	0,12	0,063	0,03	
19	0,272	-0,015	0,101	0,077	0,037	0,266	-0,014	0,114	0,064	0,032	
20	0,272	-0,015	0,098	0,075	0,037	0,266	-0,014	0,115	0,068	0,033	
21	0,264	-0,014	0,096	0,08	0,038	0,272	-0,014	0,119	0,07	0,034	
22	0,263	-0,013	0,087	0,078	0,036	0,272	-0,014	0,111	0,066	0,032	
23	0,246	-0,012	0,087	0,083	0,046	0,255	-0,013	0,118	0,076	0,04	
24	0,246	-0,012	0,077	0,089	0,052	0,263	-0,013	0,112	0,079	0,037	

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Educational building electricity load model												Perfiles Eléctricos
Hour	Weekdays						Weekends					
	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD
1	0,492	0,411	0,359	0,183	0,137	0,153	0,488	0,409	0,345	0,19	0,142	0,147
2	0,494	0,41	0,379	0,191	0,135	0,16	0,486	0,407	0,347	0,189	0,146	0,144
3	0,497	0,415	0,374	0,187	0,143	0,159	0,487	0,413	0,342	0,187	0,155	0,141
4	0,498	0,413	0,366	0,19	0,139	0,159	0,486	0,405	0,335	0,187	0,142	0,141
5	0,5	0,412	0,353	0,187	0,143	0,16	0,483	0,401	0,322	0,183	0,145	0,142
6	0,539	0,438	0,349	0,19	0,166	0,162	0,48	0,395	0,312	0,183	0,146	0,139
7	0,712	0,603	0,442	0,228	0,22	0,192	0,485	0,386	0,307	0,187	0,146	0,137
8	0,908	0,791	0,58	0,256	0,225	0,231	0,487	0,378	0,311	0,19	0,145	0,137
9	1,111	0,999	0,693	0,323	0,275	0,32	0,485	0,376	0,317	0,194	0,148	0,139
10	1,148	1,064	0,732	0,342	0,297	0,355	0,476	0,38	0,325	0,198	0,153	0,145
11	1,158	1,079	0,745	0,363	0,305	0,365	0,474	0,39	0,33	0,202	0,16	0,148
12	1,148	1,071	0,743	0,333	0,302	0,358	0,483	0,4	0,333	0,208	0,166	0,15
13	1,146	1,078	0,741	0,358	0,31	0,356	0,493	0,412	0,336	0,218	0,175	0,153
14	1,134	1,064	0,732	0,358	0,306	0,35	0,504	0,417	0,337	0,22	0,179	0,154
15	1,056	0,984	0,69	0,338	0,286	0,32	0,511	0,416	0,334	0,223	0,18	0,153
16	0,895	0,816	0,602	0,296	0,249	0,254	0,534	0,415	0,331	0,226	0,173	0,151
17	0,716	0,619	0,466	0,257	0,222	0,212	0,548	0,417	0,328	0,224	0,176	0,147
18	0,663	0,547	0,396	0,249	0,211	0,186	0,55	0,416	0,327	0,22	0,177	0,147
19	0,644	0,535	0,387	0,243	0,209	0,189	0,545	0,421	0,327	0,22	0,179	0,153
20	0,637	0,533	0,385	0,239	0,209	0,188	0,54	0,425	0,326	0,219	0,183	0,152
21	0,621	0,519	0,377	0,235	0,2	0,182	0,535	0,426	0,324	0,222	0,178	0,15
22	0,585	0,488	0,365	0,22	0,187	0,173	0,521	0,423	0,327	0,208	0,17	0,151
23	0,529	0,439	0,348	0,204	0,166	0,162	0,504	0,413	0,325	0,2	0,161	0,149
24	0,503	0,42	0,35	0,195	0,149	0,153	0,499	0,408	0,333	0,195	0,151	0,144

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Térmicos

Hospital building heat load model

Hour	Weekdays (CPT = 11,8 degree Celsius)						Weekends (CPT = 13,2 degree Celsius)					
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	HTWSTD	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	
1	0,409	-0,02	0,066	0,114	0,062	0,412	-0,02	0,103	0,092	0,047		
2	0,414	-0,02	0,066	0,122	0,064	0,416	-0,021	0,105	0,107	0,045		
3	0,421	-0,02	0,066	0,121	0,061	0,419	-0,02	0,111	0,097	0,046		
4	0,423	-0,02	0,069	0,138	0,069	0,421	-0,021	0,103	0,106	0,042		
5	0,422	-0,02	0,069	0,14	0,07	0,422	-0,02	0,107	0,111	0,047		
6	0,455	-0,022	0,071	0,14	0,069	0,445	-0,022	0,107	0,118	0,047		
7	0,535	-0,026	0,082	0,157	0,066	0,522	-0,026	0,112	0,125	0,046		
8	0,587	-0,028	0,08	0,185	0,076	0,564	-0,027	0,114	0,139	0,052		
9	0,66	-0,03	0,088	0,228	0,064	0,586	-0,029	0,113	0,171	0,051		
10	0,639	-0,032	0,086	0,202	0,062	0,573	-0,029	0,111	0,143	0,047		
11	0,629	-0,031	0,084	0,191	0,052	0,567	-0,029	0,113	0,16	0,048		
12	0,568	-0,03	0,078	0,159	0,046	0,536	-0,028	0,113	0,154	0,051		
13	0,526	-0,029	0,08	0,127	0,041	0,496	-0,028	0,111	0,107	0,036		
14	0,549	-0,029	0,083	0,15	0,045	0,515	-0,028	0,111	0,117	0,039		
15	0,543	-0,029	0,085	0,155	0,043	0,515	-0,029	0,113	0,129	0,037		
16	0,491	-0,029	0,086	0,106	0,045	0,47	-0,028	0,116	0,09	0,042		
17	0,506	-0,029	0,085	0,117	0,047	0,495	-0,029	0,114	0,103	0,035		
18	0,489	-0,029	0,084	0,1	0,049	0,481	-0,029	0,115	0,084	0,037		
19	0,513	-0,03	0,083	0,108	0,046	0,505	-0,029	0,116	0,095	0,036		
20	0,526	-0,029	0,081	0,124	0,048	0,526	-0,028	0,113	0,112	0,038		
21	0,505	-0,027	0,069	0,096	0,038	0,508	-0,027	0,109	0,092	0,041		
22	0,46	-0,023	0,07	0,116	0,053	0,463	-0,024	0,103	0,083	0,038		
23	0,405	-0,022	0,065	0,098	0,047	0,407	-0,02	0,116	0,103	0,065		
24	0,41	-0,021	0,063	0,091	0,038	0,411	-0,02	0,114	0,099	0,052		

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Eléctricos

Hospital building electricity load model

Hour	Weekdays						Weekends					
	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD
1	0,719	0,675	0,639	0,076	0,058	0,043	0,717	0,672	0,641	0,076	0,055	0,047
2	0,717	0,67	0,634	0,078	0,059	0,042	0,711	0,667	0,634	0,078	0,057	0,044
3	0,72	0,671	0,635	0,078	0,065	0,044	0,709	0,679	0,633	0,085	0,109	0,044
4	0,721	0,673	0,631	0,079	0,063	0,046	0,715	0,669	0,628	0,077	0,062	0,042
5	0,72	0,669	0,619	0,08	0,063	0,044	0,717	0,666	0,618	0,074	0,064	0,042
6	0,756	0,69	0,629	0,076	0,078	0,05	0,751	0,687	0,63	0,07	0,078	0,05
7	0,922	0,85	0,785	0,063	0,092	0,084	0,888	0,817	0,747	0,055	0,083	0,076
8	1,082	1,009	0,948	0,073	0,091	0,066	0,954	0,898	0,838	0,064	0,076	0,049
9	1,177	1,1	1,025	0,099	0,109	0,08	1,001	0,942	0,884	0,071	0,079	0,049
10	1,231	1,149	1,069	0,107	0,112	0,088	1,046	0,979	0,922	0,085	0,08	0,05
11	1,27	1,197	1,124	0,118	0,117	0,094	1,076	1,018	0,961	0,087	0,088	0,059
12	1,282	1,209	1,137	0,109	0,114	0,095	1,106	1,044	0,981	0,1	0,09	0,069
13	1,373	1,293	1,21	0,116	0,122	0,109	1,198	1,135	1,066	0,085	0,092	0,076
14	1,244	1,167	1,095	0,11	0,108	0,091	1,063	1,004	0,943	0,082	0,081	0,052
15	1,216	1,141	1,083	0,116	0,112	0,091	1,068	1,008	0,959	0,093	0,09	0,063
16	1,124	1,034	0,978	0,091	0,094	0,07	1,018	0,94	0,885	0,089	0,079	0,05
17	1,097	1,012	0,95	0,085	0,081	0,058	1,052	0,965	0,906	0,079	0,076	0,048
18	1,078	0,988	0,925	0,082	0,082	0,051	1,058	0,972	0,908	0,08	0,085	0,059
19	1,076	0,993	0,919	0,073	0,077	0,049	1,061	0,978	0,904	0,068	0,077	0,049
20	1,083	1,006	0,934	0,079	0,079	0,049	1,071	0,999	0,924	0,073	0,077	0,049
21	1,013	0,95	0,88	0,07	0,08	0,045	1,006	0,94	0,87	0,066	0,079	0,045
22	0,875	0,844	0,793	0,085	0,093	0,069	0,865	0,838	0,783	0,084	0,093	0,069
23	0,771	0,728	0,684	0,079	0,066	0,048	0,763	0,728	0,68	0,078	0,068	0,047
24	0,734	0,69	0,649	0,077	0,059	0,045	0,729	0,688	0,645	0,078	0,059	0,044

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Térmicos

Hotel and restaurant building heat load model

Hour	Weekdays (CPT = 10,5 degree Celsius)						Weekends (CPT = 12,6 degree Celsius)					
	Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD		Alpha	Beta	STD	HTW	HTWSTD	
1	0,439	-0,026	0,094	0,128	0,074	0,455	-0,024	0,167	0,149	0,069		
2	0,433	-0,026	0,09	0,112	0,071	0,443	-0,025	0,165	0,126	0,067		
3	0,431	-0,026	0,087	0,107	0,07	0,442	-0,026	0,18	0,127	0,095		
4	0,433	-0,026	0,086	0,098	0,067	0,441	-0,025	0,157	0,114	0,071		
5	0,443	-0,027	0,085	0,102	0,066	0,44	-0,025	0,153	0,103	0,07		
6	0,463	-0,027	0,087	0,122	0,073	0,448	-0,026	0,159	0,108	0,068		
7	0,601	-0,026	0,122	0,228	0,104	0,502	-0,025	0,16	0,147	0,075		
8	0,704	-0,025	0,179	0,362	0,148	0,553	-0,023	0,169	0,235	0,085		
9	0,621	-0,026	0,132	0,329	0,115	0,649	-0,022	0,185	0,341	0,106		
10	0,534	-0,026	0,118	0,247	0,108	0,659	-0,024	0,205	0,338	0,107		
11	0,495	-0,027	0,117	0,177	0,086	0,567	-0,026	0,197	0,246	0,09		
12	0,482	-0,027	0,104	0,162	0,075	0,522	-0,026	0,17	0,191	0,08		
13	0,467	-0,027	0,102	0,147	0,077	0,486	-0,027	0,166	0,16	0,071		
14	0,456	-0,026	0,1	0,131	0,069	0,465	-0,026	0,166	0,138	0,073		
15	0,449	-0,027	0,104	0,126	0,062	0,451	-0,026	0,175	0,126	0,063		
16	0,449	-0,027	0,105	0,128	0,067	0,452	-0,026	0,175	0,118	0,068		
17	0,454	-0,027	0,104	0,131	0,067	0,47	-0,027	0,179	0,128	0,071		
18	0,479	-0,028	0,114	0,152	0,073	0,489	-0,027	0,19	0,145	0,079		
19	0,506	-0,028	0,121	0,179	0,082	0,498	-0,026	0,171	0,161	0,07		
20	0,492	-0,027	0,105	0,173	0,079	0,485	-0,025	0,162	0,143	0,07		
21	0,491	-0,028	0,109	0,165	0,076	0,475	-0,025	0,162	0,139	0,063		
22	0,497	-0,027	0,1	0,171	0,077	0,473	-0,025	0,167	0,144	0,074		
23	0,471	-0,027	0,107	0,164	0,076	0,453	-0,025	0,159	0,137	0,064		
24	0,474	-0,028	0,112	0,168	0,074	0,456	-0,026	0,16	0,131	0,063		

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134

Perfiles Eléctricos

Hotel and restaurant building electricity load model

Hour	Weekdays						Weekends					
	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD	Winter	Spring/ fall	Summer	Winter STD	Spring/ fall STD	Summer STD
1	0,891	0,868	0,809	0,103	0,097	0,083	0,915	0,896	0,829	0,129	0,119	0,079
2	0,864	0,841	0,782	0,097	0,091	0,077	0,889	0,871	0,808	0,115	0,106	0,08
3	0,857	0,83	0,77	0,093	0,089	0,076	0,878	0,869	0,791	0,108	0,149	0,079
4	0,856	0,825	0,763	0,091	0,088	0,075	0,873	0,845	0,781	0,103	0,098	0,076
5	0,863	0,834	0,768	0,092	0,089	0,077	0,864	0,84	0,776	0,098	0,097	0,078
6	0,898	0,858	0,792	0,107	0,099	0,082	0,879	0,851	0,791	0,106	0,102	0,09
7	0,989	0,946	0,866	0,132	0,119	0,093	0,927	0,895	0,837	0,13	0,121	0,103
8	1,071	1,053	0,969	0,146	0,132	0,107	0,981	0,956	0,895	0,13	0,125	0,105
9	1,106	1,118	1,059	0,167	0,148	0,126	1,019	1,013	0,962	0,155	0,139	0,107
10	1,062	1,048	0,998	0,144	0,135	0,116	1,09	1,113	1,047	0,181	0,163	0,12
11	1,044	1,019	0,944	0,141	0,131	0,115	1,082	1,097	1,027	0,182	0,161	0,122
12	1,035	1,01	0,92	0,141	0,132	0,118	1,008	0,993	0,916	0,153	0,136	0,098
13	1,026	0,997	0,904	0,144	0,133	0,115	0,988	0,97	0,893	0,146	0,136	0,096
14	1,008	0,984	0,896	0,139	0,129	0,113	0,967	0,945	0,872	0,144	0,131	0,106
15	1,006	0,976	0,888	0,144	0,135	0,119	0,961	0,934	0,861	0,147	0,132	0,101
16	1,02	0,985	0,903	0,151	0,141	0,122	0,985	0,945	0,872	0,158	0,144	0,113
17	1,025	0,987	0,91	0,151	0,142	0,118	1,011	0,968	0,893	0,178	0,161	0,117
18	1,067	1,023	0,938	0,169	0,156	0,127	1,027	0,983	0,923	0,175	0,158	0,122
19	1,084	1,05	0,97	0,17	0,158	0,132	1,024	0,995	0,937	0,173	0,162	0,132
20	1,103	1,079	0,996	0,181	0,165	0,136	1,022	0,999	0,947	0,175	0,163	0,139
21	1,1	1,084	0,999	0,177	0,162	0,134	1,004	0,988	0,949	0,18	0,158	0,127
22	1,072	1,061	0,975	0,165	0,149	0,124	0,977	0,962	0,923	0,159	0,138	0,109
23	1,015	1,016	0,941	0,149	0,132	0,11	0,95	0,94	0,9	0,144	0,13	0,099
24	0,939	0,934	0,872	0,122	0,111	0,097	0,911	0,893	0,849	0,129	0,118	0,09

[10] Linda Pedersen a, Jacob Stang b,*, Rolf Ulseth. Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems. Energy and Buildings 40 (2008) 1124–1134