

**Documento del Grupo de Trabajo de Conama 10**  
**La ciudad como gestora y generadora de energía**

**ENTIDAD COORGANIZADORA:**

Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales

**PARTICIPANTES**

**Coordinador:**

- Manuel Nicolás i Barba. COGITI (Consejo General de Ingenieros Técnicos Industriales).

**Relatores:**

- Diego Gamo. Fundación Biodiversidad.
- Josep Manuel Esteban. Diputación de Barcelona.
- Idoia Arauzo. Eco-Unión.

**Colaboradores técnicos:**

- José Enrique Vázquez. Grup de Gestors Energètics.
- Jordi Sels i Vidal. BioQuat
- Francesc Tarongí. Enertika.
- Susana Carillo Aparicio. ENDESA.
- Agustín Pérez Iniesta. ENDESA.
- Enrique Méndez Ruiz. ENDESA
- Felipe Alvarez-Cuevas Figuerola. ENDESA.
- Ramón Jané. Gas Natural Fenosa.
- Elena Gonzalez. Energy Lab.
- Gerardo Rodríguez. Energy Lab.
- Virginia Guinda. ACOGEN.
- Javier Arévalo. Red Eléctrica de España.
- Ana Iglesias González. Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid.
- Juan Armindo Hernández Montero. Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid.
- Isaac Sanz Alonso. Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid.
- Isabel Tarín Egoscozábal. Urbaser.
- José Javier Alonso Mateos. Urbaser.
- Manel Torrent. Agencia de la Energía de Barcelona.
- Idoia Arauzo. eco-union.

## Conclusiones

El ya asumido escenario de fuerte crecimiento de la población y su concentración en grandes ciudades de cara a un futuro muy próximo, acompañado del contexto actual de cambio climático, requiere un rápido cambio de paradigma en el plano energético. De esta manera, resulta necesaria una transformación decidida de la ciudad actual como gran consumidora de energía hacia un nuevo papel de gestora y productora de la misma.

Los núcleos urbanos disponen de un potencial suficiente para gestionar de manera eficiente la energía que reciben, permitiendo ahorros importantes que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte disponen de recursos para generar una gran parte de la energía que utilizan, permitiendo en según qué casos exportar parte de la misma.

El cambio de paradigma, por tanto, se hace necesario desde todos los puntos de vista –el ambiental, el energético y el económico–, por lo que la piedra angular del nuevo modelo ha de ser su rentabilidad, basada en una fuerte eficiencia energética. Al mismo tiempo, la transformación no estará exenta de algunos inconvenientes, pero también de numerosas ventajas y necesarias adaptaciones, que incluyen desde la elaboración de un nuevo y exigente marco normativo para los promotores a fuertes medidas de mantenimiento de la red eléctrica, pasando por grandes inversiones iniciales en infraestructura e incentivos económicos canalizados desde el Estado.

El futuro escenario energético requiere el desarrollo de una nueva figura, la del Gestor Energético, que acompañe la implantación eficaz de los nuevos sistemas. Para ello será necesaria una labor importante de formación específica de personal bajo los criterios del modelo moderno.

Dentro del nuevo sistema energético, la gestión de la demanda y de la oferta en las ciudades no se entiende sin la participación de las nuevas tecnologías a través de las redes inteligentes o Smart Grids. Las posibilidades en este ámbito son enormes, dando lugar a redes de Generación Distribuida que minimizarán las pérdidas relativas al transporte de la energía y, lógicamente, deberán facilitar también la integración de las energías renovables u otras fuentes como la cogeneración y la microgeneración. De forma paralela y, pese a que no ha constituido un elemento de análisis de este grupo de trabajo, cabe destacar la importancia futura del vehículo eléctrico como medio de almacenamiento de energía en las nuevas redes inteligentes.

Además de la Generación Distribuida, el otro gran pilar en el que se sustenta la transformación del sistema energético en lo que respecta a las ciudades son las redes de calor y frío en barrios (District Heating & Cooling). Basadas en el aprovechamiento de fuentes propias del municipio (gas natural, biomasa y otras renovables, residuos, etc.), son ya una realidad en algunos barrios de Barcelona y Madrid. En esta última, además, se han incorporado tecnologías novedosas como las pilas de combustibles

alimentadas por biogás. Los residuos urbanos, por tanto, están cobrando un papel cada vez más protagonista como recurso para la generación de energía eléctrica y el aprovechamiento térmico residual.

En general, parece lógico asumir que todos los avances que se produzcan en el ámbito de la Generación Distribuida redundarán en una mejor gestión de la red eléctrica a nivel nacional, aumentando notablemente la eficiencia y minimizando la necesidad de crear nuevas líneas de distribución por todo el territorio. Al mismo tiempo, las posibilidades de almacenamiento nocturno que ofrecen dentro de este sistema tanto el vehículo eléctrico como el bombeo aguas arriba en centrales hidroeléctricas, serán factores importantes a tener en consideración.

A día de hoy, pues, se puede afirmar que el cambio hacia un nuevo modelo energético sostenible en las ciudades es factible, pero ha de estar necesariamente precedido por un cambio de paradigma que afecte a todo el sector.

## RESUMEN

La generación distribuida será sin duda, junto a las redes de barrio, el cambio de paradigma que permitirá que el concepto de que tradicionalmente los núcleos urbanos han sido receptores puros energía se vea de manera absolutamente diferente. En el siglo XXI se impone realizar un cambio por coherencia y eficacia.

Los núcleos urbanos disponen de un potencial suficiente para gestionar de manera eficiente la energía que reciben, permitiendo ahorros importantes que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte disponen de recursos para generar una gran parte de la energía que utilizan, permitiendo en según qué casos exportar parte de la misma.

El grupo de trabajo (GT) elabora una serie de documentos que permiten ver el estado del arte, en qué punto estamos y, sobre todo, hacia dónde nos dirigimos para conseguir el cambio preciso.

El grupo no entrará a valorar los temas de movilidad, tema muy importante que se tratará en otro GT, pero sí estudiará lo referente a la gestión de energía que pueden almacenar los vehículos eléctricos y su gestión tanto de demanda como de oferta.

El principio de gestión fundamental es la medida y análisis de la misma, en ese sentido las Smart Grids son fundamentales y con unas posibilidades enormes de gestión de la demanda y la oferta, así como de la integración de las energías renovables u otras como la cogeneración en redes de generación distribuida (GD).

La GD tiene implicaciones en la gestión de la red de transporte que se analizarán por parte de Red Eléctrica. La calidad de onda de las redes no será objeto del presente grupo de trabajo.

Las redes de barrio, calor y frío, con aprovechamiento de fuentes propias del municipio, así como la utilización de tecnologías novedosas, como las pilas de combustible, serán objeto de estudio y se mostrarán ejemplos realizados en Barcelona y Madrid. Asimismo se realizará un estudio de los residuos como recurso para la generación de energía eléctrica y el aprovechamiento térmico residual.

## OBJETIVOS

1. Dar a conocer el alcance y la necesidad del gestor y la gestión energética.
2. Mostrar cómo las tecnologías de la información, mediante su aplicación en las Smart Grids, permiten que la gestión de la red en tiempo real se lleve a un grado de automatización en MT y BT, controlando y gestionando la generación distribuida (microgeneración, renovables, etc. y sistemas de almacenamiento, como las baterías de los vehículos eléctricos). Asimismo se demuestra que se puede efectuar una gestión eficiente de la demanda, tanto en edificios como en el alumbrado público. El usuario pasa de tener una implicación pasiva a otra activa en la gestión.
3. Presentar la experiencia del proyecto SmartCity Málaga, en el que se desarrolla un demostrador de la Red Inteligente, donde Clientes y Distribuidora colaboran en la consecución del reto energético para disminuir el impacto sobre el medioambiente, incrementando la utilización de fuentes de energía renovables, aumentando la eficiencia energética, acercando la generación al consumo y concienciando al consumidor fomentando el consumo racional y eficiente.

4. Recoger la visión y experiencia que, tanto Gas Natural Fenosa como EnergyLab, tienen sobre la sostenibilidad y eficiencia energética en las ciudades y, especialmente, respecto a su evolución dentro del concepto Smart Cities y la generación distribuida. De esta manera se engloban diferentes estrategias que persiguen la reducción del impacto ambiental y energético de las ciudades, el incrementando su competitividad y el mantenimiento de los más altos estándares de calidad de vida.
5. Identificar aplicaciones de cogeneración adecuadas para el máximo ahorro de energía primaria y emisiones en las ciudades.
6. Mostrar las implicaciones en el diseño y gestión de la red de transporte y distribución al integrar la generación distribuida en el sistema.
7. Exponer los retos que la implantación de una red de calor y frío suponen para una ciudad, así como la necesidad de compatibilizar estas grandes infraestructuras con la urbanización (nueva o ya desarrollada) de extensas áreas de la ciudad, a través de las experiencias desarrolladas en Barcelona.
8. La reducción de emisiones contaminantes y del consumo de energía, junto con la prestación de un mayor confort a los vecinos, es uno de los objetos más importantes de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid.
9. Plantear la finalidad particular de optimizar el aprovechamiento energético de los residuos generados, que en la actualidad tienen como destino el vertido. De esta forma se busca la consecución de varios objetivos, tales como la mejora ambiental por disminución de vertido y la reducción de la dependencia energética del exterior, mejorando la gestión eficiente global de los recursos energéticos de la ciudad.

## **ÍNDICE DEL DOCUMENTO**

### **1. El Gestor Energético**

- 1.1. Definición de un Gestor Energético.
- 1.2. Requerimientos.
- 1.3. Áreas de actuación.
- 1.4. Soporte tecnológico.
- 1.5. Figuras jurídicas – administrativas del Gestor Energético.
- 1.6. Eficiencia energética.

### **2. Redes inteligentes**

- 2.1. Introducción a la generación distribuida en las ciudades dentro del concepto de “smart cities”.
- 2.2. Tecnologías de generación distribuida en el sector terciario y residencial. Revisión de experiencias existentes.
- 2.3 La gestión de la demanda y los nuevos servicios para implicar activamente al consumidor en la eficiencia energética.
- 2.4. Potencial de la generación distribuida en España considerando diferentes escenarios y planes de actuación actualmente en curso.

### **3. Málaga Smart City**

- 3.1. Tecnologías de Información y Comunicaciones.
- 3.2. Automatización de la red de MT y BT.
- 3.3. Mini y micro generación. Almacenamiento.
- 3.4. Eficiencia energética y gestión activa de la demanda. Edificios, viviendas y alumbrado público.
- 3.5. Telegestión.
- 3.6. Vehículos eléctricos.

### **4. Microgeneración y generación distribuida en los hogares y en el sector terciario. Retos y oportunidades**

4. 1. La generación distribuida en las ciudades dentro del concepto de “Smart Cities”.
- 4.2. Tecnologías de generación distribuida en edificios del sector terciario y residencial. Revisión de experiencias existentes.
- 4.3. Conclusiones

### **5. Aplicaciones y perspectivas de futuro de la cogeneración en las ciudades**

- 5.1. Breve definición de cogeneración.
- 5.2. Potencial de cogeneración del sector terciario en España.
- 5.3. Aplicaciones de cogeneración en las ciudades:
- 5.4. Perspectivas de futuro de la cogeneración en las ciudades.

### **6. Implicaciones del nuevo modelo energético urbano en la red de transporte y distribución de energía eléctrica**

## **7. Redes de climatización de barrio (DH&C):**

- 7.1. Introducción. El mapa energético de Barcelona.
- 7.2. Las redes de calor y frío en Barcelona:
- 7.3. El futuro de las redes de calor y frío en Barcelona.

## **8. Cogeneración con pilas de combustible y recogida neumática de residuos urbanos en las Colonias Municipales de San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles de Puente de Vallecas de Madrid**

- 8.1. Primer proyecto de Ecobarrio
- 8.2. Nueva ordenación urbana
- 8.3. Las colonias municipales contarán con dos instalaciones pioneras en Madrid
- 8.4. Centrales
- 8.5. Calefacción de distrito-District Heating
- 8.7. Sistema de recogida neumática de residuos urbanos

## **9. Los residuos como recurso energético**

- 9.1. Situación general de los residuos y su gestión en España.
- 9.2. Esquema de gestión y tratamiento óptimo de los residuos urbanos en función del tamaño de los municipios.
- 9.3. Particularización para un municipio tipo.
- 9.4. Mejoras posibles en el sistema actual.
- 9.5. Otras vías posibles de mejora en el aprovechamiento energético de los residuos.
- 9.6. Ventajas y barreras en el aprovechamiento de los residuos como recurso energético. Conclusiones.

## **1. El Gestor Energético**

### **1.1 Introducción al gestor energético**

La disponibilidad y el consumo de energía es una de las causas más importantes del cambio climático. Así mismo los países y los sectores que no reduzcan su consumo energético, que no sean más eficientes, no serán competitivos. El gestor energético es la figura indispensable para garantizar el seguimiento y cumplimiento de los objetivos de eficiencia y optimización energética.

El Grup de Gestors Energètics es una asociación sin ánimo de lucro que agrupa profesionales multidisciplinares involucrados en el ámbito de la energía y el medio ambiente. Es totalmente independiente de la Administración, de otras Asociaciones Profesionales o Sindicales y de Fabricantes. El perfil de los asociados son responsables energéticos y ambientales de la industria, ingenierías, fabricantes de equipos y las propias administraciones (Ayuntamientos, ICAEN, Diputación). Ha cumplido su 27 aniversario. Y el número aproximado de socios es de 230. Su sede social está en Catalunya.

### **1.2 Definición de un Gestor Energético.**

La figura del gestor energético no es de reciente aparición. En la crisis energética de los 70, era aquel señor que cada mañana apuntaba los consumos de la fábrica o del establecimiento en una libreta y “comprobaba” que se mantuvieran en lo previsible. Se perdió ese oficio cuando el precio de la energía no fue crítico. En la situación energética y ambiental de hoy en día es indispensable recuperarlo. Es el “contable” energético que comprueba los consumos energéticos, conoce donde se producen y actúa para minimizarlos y mejorar la competitividad de la sociedad al reducir los mismos.

En el momento que ponemos un responsable que actúa sobre cualquier ámbito empresarial, con objetivos definidos, estos mejoran. Tenemos ejemplos claros y diarios en las áreas de calidad, medio ambiente o prevención de riesgos. **El trabajo del gestor energético es conseguir la máxima eficiencia, manteniendo la producción o el confort de las instalaciones.** Actúa gestionando la iluminación, la producción de frío, la climatización o la gestión de los servicios auxiliares. La experiencia de nuestros asociados nos permite asegurar ahorros de un 20 % en el momento que se profesionaliza y responsabiliza la gestión energética.

### **1.3 Requerimientos.**

El gestor energético tiene un perfil muy concreto. Todos podemos “intuir” la eficiencia energética, pero el cuantificar los consumos de energía, el proponer alternativas técnicas y el valorar su viabilidad económica requieren de un perfil profesional determinado.

El gestor energético actuara en el área del triangulo comprendido entre la rentabilidad económica, la garantía del suministro energético y el impacto ambiental de la



producción, transporte y consumo energético. El gestionar estos tres “lados” implica unas atribuciones específicas.

Enumeramos aquellas que consideramos imprescindibles:

Total imparcialidad ante los agentes energéticos y ambientales del mercado (Fabricantes de equipos, suministradores de energía y otros agentes comisionistas del mercado). Entendemos que esto no excluye la participación de estos agentes en la promoción del ahorro energético, pero si los condiciona a prestar los servicios de gestión energética con agentes independientes a su ámbito económico.

Formación o equipo de trabajo altamente pluridisciplinar. Afrontar el reto de la optimización energética requiere de conocer ángulos distintos del problema. No será comparable la optimización energética de un edificio corporativo del de una planta de síntesis de polipropileno. Cada caso requerirá de técnicos y titulados adecuados al área de actuación.

Experiencia avalada en el sector de actuación. La titulación y la formación son imprescindibles, pero el adquirir experiencia en el ámbito de la optimización energética es vital para asegurar la viabilidad y el éxito de los proyectos de optimización energética. La participación de Colegios Profesionales, Institutos Tecnológicos, Asociaciones Profesionales y Agencias de la Energía serán una garantía para acreditar profesionalmente a los gestores energéticos y participar en su formación continua.

Capacidad de servicio. El realizar estudios de eficiencia energética requiere de una capacidad técnica. Analizar energía sin la capacidad de medirla podemos incluirlo en el campo de la “intuición” energética. Para ejercer capacidad de medir energía es necesario el disponer y el conocer equipos de medición basados en principio físicos muy distintos, desde ultrasonidos, radiación infrarroja, electroquímica, etc. El gestor energético debe de tener la disponibilidad de estos equipos, conocer su uso y la capacidad - experiencia de interpretar los resultados.

La figura del gestor energético puede desarrollarse por una persona física o por una sociedad. El perfil de la persona física será el mayoritario en aquellas instalaciones que o por su reducido tamaño, un edificio corporativo, de viviendas o por su gran complejidad permitan o requerirán este perfil. Esto no excluye la participación de empresas que presten el servicio de gestión energética, bien por la capacidad de servicio al agrupar instalaciones de tamaño más reducido o la capacidad tecnológica ante grandes consumidores de energía. Es probable, como ha sido en otros campos energéticos, que se vaya produciendo una especialización profesional y empresarial, ofreciendo servicios de gestión energética concretos para cada perfil de optimización. Así mismo la capacidad de la telegestión y el acceso sin dificultades a la Red facilitará la implantación del gestor energético en múltiples actividades económicas.

El perfil profesional del gestor energético debe de ser un técnico con experiencia y conocimientos generalistas de todas las técnicas energéticas que se pueden utilizar.

Debe tener experiencia como:

- Responsables de energía y medioambiente del sector industrial.
- Responsable de empresas energéticas.
- Responsables de mantenimiento y producción.
- Técnicos de la Administración Autonómica y Local.
- Fabricantes, proveedores e instaladores del sector industrial y edificios.
- Agencias de la Energía.
- Ingenierías y Consultorías.

#### **1.4. Normativa relacionada con la figura del Gestor Energético.**

El Gobierno ha planteado recientemente que las comunidades de vecinos de aquellos edificios de más de 1.000 metros cuadrados útiles tengan que asignar un gestor energético que siga mensualmente el consumo energético del edificio y que a final de año realice un informe sobre el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La norma adapta el objetivo acordado por la UE de que en 2020 el 20% de la energía deberá ser de origen renovable (en 2007 fue el 7%). Otro objetivo es que en 2020, el 10% de los carburantes tendrán que ser de origen verde (un 1,8% el año pasado). Este gestor -puede ser el administrador de fincas si se especializa o bien una empresa de servicios energéticos- deberá presentar cada año el gasto en energía del edificio (caldera, luz...) así como analizar y plantear las mayores posibilidades de ahorro.

Se calcula que el potencial de ahorro energético de los edificios es enorme, de hasta un 60% en los bloques más antiguos y los peor aislados. Además, según los expertos, la inversión en reparaciones y renovaciones de las instalaciones se amortizan en poco tiempo, por lo que no hay motivo para no sacar adelante este proyecto.

#### **1.5. Funciones del gestor energético**

El gestor energético debe optimizar los consumos de energía de las instalaciones del edificio, y para ello ha de establecer una guía de consumos racionales de la misma, fijando todas las pautas para que los ocupantes sigan las instrucciones correctas. En el caso de un edificio de viviendas, el gestor energético podría ser el administrador de la finca, el presidente, un vecino designado por la comunidad que previamente debería formarse en la materia, o una empresa de servicios energéticos contratada por la comunidad de vecinos para esta tarea.

Dicho gestor tendrá, entre sus funciones, las siguientes:

- a) Realizar un seguimiento mensual del consumo de energía del edificio.
- b) Realizar, una vez al año, un estudio comparativo con años anteriores del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, con el fin de detectar posibles desviaciones y proponer mejoras y modificaciones de la instalación existente, en su caso.
- c) Realizar un programa de funcionamiento de las instalaciones y equipos consumidores de energía con el fin de dar el servicio demandado con el mínimo consumo energético para distintos regímenes de ocupación o temporadas climáticas. En este programa de funcionamiento, se incluirá a las instalaciones y

equipos con mayor consumo de energía del edificio y, como mínimo, a las instalaciones térmicas de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria, iluminación e informática. El programa establecerá el régimen horario de puesta en marcha y parada de las instalaciones, tanto para el horario laboral, como para las actividades que se realicen fuera de este horario, así como los fines de semana y para condiciones especiales de uso del edificio.

- d) Aplicar, mantener y vigilar la realización del programa de funcionamiento del apartado anterior.
- e) Proponer un programa de mejora de la eficiencia energética del edificio que deberá ser tenido en cuenta, especialmente, cuando se acometan reformas o renovaciones sustanciales.

### **1.6. El gestor energético y las empresas de servicios energéticos**

El desarrollo de las Empresas de Servicios Energéticos facilitará la integración del gestor energético. Los gestores energéticos, en muchos casos, se apoyarán en la externalización de la producción energética, mantenimiento y optimización de las instalaciones, pero a la vez serán los responsables de evaluar y certificar los objetivos de ahorro y optimización ofrecidos y contratados a las Empresas de Servicios Energéticos.

El desarrollo de la actividad del gestor energético puede ralentizar su implantación por: Los recursos económicos que se destinen a la eficiencia energética. No hay que olvidar que nuestro país ha disfrutado, de forma artificial, de una energía barata. En ese entorno era difícil el justificar económicamente la optimización energética. Las perspectivas apuntan a un encarecimiento de las fuentes energéticas

La falta de rigurosidad en los estudios realizados, bien por excesivamente generalistas o por carecer de viabilidad económica. Es imprescindible la detección veraz de ahorros y optimizaciones, y detallando su viabilidad económica y gasto ambiental

El mantener de forma artificial un precio energético que no recoja todas las señales del mercado. Ahorramos cuando hay escasez o su valor económico es elevado. Un ejemplo reciente ha sido en España la reducción del consumo de agua ante una prolongada sequía. En muchas ciudades españolas se mantienen ratios de consumo de agua por debajo de la situación previa de la sequía.

La aparición de oportunistas que ofrecen productos, tecnologías y servicios de nula efectividad, pero que provocan engaños y desconfianza ante las propuestas de ahorro energético

Para finalizar, el gestor energético es una actividad de presente y un excelente futuro ocupacional. Pero para ello será necesario formar y reciclar técnicos capaces de asumir la responsabilidad y cumplir con los objetivos imprescindibles de eficiencia energética

## 2. Redes inteligentes

### 2.1. Resumen

El reto principal de la planificación, diseño y urbanización de la nueva generación de parques industriales es la optimización energética y la sostenibilidad, fundamentados por el concepto de cero emisiones. Por tanto, estos parques o polígonos industriales deberán estar caracterizados por un modelo energético eficiente, basado en el fomento de la generación distribuida aplicando renovables, la movilidad eléctrica y la gestión inteligente de la demanda de edificios, alumbrado exterior y otras infraestructuras que lo conforman.

Se trata de desarrollar de un nuevo concepto de infraestructura dirigida a fomentar el tránsito del modelo de polígono industrial tradicional a uno nuevo, basado en la eficiencia energética y la sostenibilidad medioambiental.

Con esta finalidad se plantea la investigación, el desarrollo y el ensayo de metodologías y de un Sistema Inteligente de Gestión destinados a controlar y gestionar los consumos y costes de energía (eléctrica y térmica) de un parque tecno-industrial. La implantación de estas metodologías y este sistema inteligente permitirá supervisar, hacer diagnosis y prognosis de los consumos de las diferentes entidades que constituirán este tipo de zonas tecno-industriales innovadoras (edificios, fábricas, almacenes, alumbrado exterior, etc.), optimizando al máximo sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Para ello será necesario la interrelación y la interoperabilidad de los diferentes agentes generadores y consumidores de energía tales como: la central de energías térmicas (calor, frío), central fotovoltaica, red y subestaciones eléctricas, red de puntos de recarga de vehículos eléctricos, edificios, talleres y alumbrado exterior.

Desde el punto de vista operativo, un parque tecno-industrial es una infraestructura compleja energéticamente hablando, por el volumen y la heterogeneidad de su consumo, y consecuentemente un gran emisor de CO<sub>2</sub>.

Una de las posibles soluciones es la implantación de un **Sistema Automático Inteligente** para la Gestión de la Energía (SAIGE). Consistente en una micro-red inteligente que integra todos los agentes implicados en la generación, distribución y consumo de la energía con el objetivo de suministrar y hacer consumir eficientemente y sosteniblemente esta energía.

Esto lo consigue unificando e interconectando los diferentes elementos de control instalados en la red eléctrica y térmica mediante sistemas de comunicación, permitiendo así, captar en tiempo real la información de consumo energético, tratarla y tomar la mejor decisión en el momento más óptimo.

### 2.2. Objetivos

Enfocándonos en el uso eficiente de la energía, se plantea un **Sistema Automático Inteligente** para la Gestión de la Energía (SAIGE) para entornos industriales compuestos de **edificios y plantas industriales**, teniendo en cuenta las **herramientas tecnológicas actuales**, como el desarrollo de otras nuevas basadas en las **herramientas científicas** que se encuentran en el estado del arte de tales sistemas.

El sistema SAIGE está orientado a **la optimización de la demanda** y a la gestión de **ahorro energético** en las instalaciones, mediante **control inteligente de las cargas** conectadas, **diagnóstico y predicción de consumos**, supervisión y control de los **equipos de compensación**, y emisión de reportes que faciliten un adicional **análisis de consumos** por parte de personal experto o de producción.

La **Finalidad** última consiste en limitar los costes energéticos de la producción y los servicios, reducir las unidades de CO<sub>2</sub> producidas, y limitar la factura energética de las empresas o servicio sin afectar a la seguridad, el confort o la eficiencia de los sistemas.

Concretamente, un sistema SAIGE está en disposición de:

- Incrementar la eficiencia del uso energético en plantas industriales mediante la **gestión energética** inteligente, automatizada y asistida.
- Supervisar el estado de consumos de la planta, y **diagnosticar las desviaciones** de los márgenes establecidos, según parámetros variables estacionales y de producción.
- Gestionar la distribución de la demanda instantánea mediante la **predicción de consumos** haciendo uso de herramientas de inteligencia artificial. El objetivo es eliminar los picos de demanda y reducir la potencia máxima contratada por cada empresa.

El control y monitorización en tiempo real de los consumos energéticos permitirá recortar el tiempo de inutilización de la red eléctrica (cortes), así como perseguir la eficiencia tanto en la generación como en el consumo.

Reducción de los puntos de demanda pico, descongestionando la red y estabilizándola a causa del control del coste y del consumo energético por parte del consumidor.

Facilita la incorporación de mecanismos que permiten reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> como los PHEV (Plug-in Hibrid Electric Vehicles)

Reducción de las pérdidas eléctricas de la red asociadas al transporte en largas distancias incentivando la generación distribuida y el almacenamiento

Integración de energías renovables a la red eléctrica (fotovoltaica y mini-eólica) y permite priorizarlas delante de las convencionales en su uso.

### **2.3. Hacia una gestión inteligente de la demanda**

Los retos que representa el contexto energético medioambiental actual hace tan importante la búsqueda de nuevas formas de generación energética no contaminante, como consumir eficientemente la energía disponible. Esta última alternativa tiene la ventaja que la energía ahorrada puede ser utilizada para otros sistemas, es decir, al ahorrar se “genera” sin necesidad de hacer una gran inversión, de ahí que podamos decir que la energía más limpia, económica y accesible es la que no se consume. Sin embargo, no se quiere decir que el uso de fuentes alternativas no sea fundamental, pues el ahorro que se puede realizar en un proceso o actividad tiene un límite, y ello

obliga a utilizar fuentes energéticas alternativas, y a incluirlas en el mix o sistema de generación de energía si se quiere cumplir con la demanda creciente de energía eléctrica.

Por otro lado, la Inteligencia Artificial (IA) ha venido demostrando en múltiples áreas de la ciencia su potencia como herramienta para resolver problemas de modelado de sistemas, de predicción de resultados, y de búsqueda de soluciones óptimas en ambientes dinámicos. Los SGE no han sido la excepción de esta tendencia, como lo demuestra la aparición de SGE basados en algoritmos de IA para modelado y gestión de consumos como los desarrollados por ENERTIKA con la colaboración de la UPC en la planta de fabricación de coches de Seat en Martorell.

En este contexto, los **Sistemas de Gestión Energética (SGE)**, entendidos como sistemas de monitorización y control de los consumos energéticos de un edificio, planta o proceso en general, están teniendo un fuerte desarrollo en los últimos años:

- SGE en sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Por su gran importancia estos sistemas han tenido una amplia aplicación, y actualmente se cuenta con productos comerciales muy avanzados basados en herramientas software de tipo SCADA.
- SGE en Edificios (BEMS, "*Building Energy Management System*"), sistemas muy orientados al control de los sistemas de confort ambiental y lumínico en edificios de oficinas, en aplicaciones asociadas al concepto de edificio inteligente.
- SGE en plantas industriales, orientados a la optimización energética para disminuir el consumo por unidad producida, y para distribuir los consumos que aparecen en los procesos que se realizan en una fábrica. La finalidad de estos sistemas es mantener lo más constante posible la curva de demanda energética. Hasta el momento, su capacidad de actuación sobre la planta es limitada y se utilizan fundamentalmente para servir como herramienta de supervisión y adquisición de datos de consumo para las auditorías energéticas realizadas por personal experto.

En cualquiera de los tres casos, el SGE se interpreta como una herramienta tecnológica que ayuda y complementa a las auditorías energéticas, para evaluar en general la eficiencia energética de un proceso, planta o edificio. Es decir, los SGE comerciales actúan como sistemas de supervisión y diagnóstico, pero no de gestión de cargas actuales ni control predictivo de cargas por predicción de consumos futuros.

#### **2.4. Estado Del arte de sistemas de gestión energética (SGE)**

En cuanto a SGE en entornos industriales, edificios y plantas industriales, que es el caso que concierne en este artículo, su aplicación está muy ligada a los edificios inteligentes y a los sistemas SCADA de tales plantas, donde se puede aprovechar toda la infraestructura en instrumentación electrónica (sensores), actuadores, sistema de comunicación y centralización de datos.

Por ejemplo, una solución, que incorpora la gestión automática e inteligente de los recursos energéticos en un edificio, aprovechando la infraestructura existente, se ha

planteado en [1]. No obstante, existe también la posibilidad de diseñar un sistema específicamente pensado para la gestión energética, incluyendo su hardware y software, como se plantea en [2].

Por tanto, y particularmente en el **sector de edificios**, los esfuerzos científicos en los últimos años se han orientado a la mejora de las estrategias de procesamiento de la información para aumentar el grado de automatismo de los SGE, incluyendo principalmente, dentro de estas estrategias, herramientas de inteligencia artificial. Por ejemplo, en [3] se propone un método de optimización basado en un modelo empírico de consumos, en [4] se realiza un control inteligente de sistemas HVAC mediante reglas ponderadas de lógica “fuzzy”, en combinación con un proceso de selección de dichas reglas para generar controladores “fuzzy” más precisos, y en [5] se propone un sistema de optimización del consumo energético en sistemas HVAC mediante programación evolutiva.

El modelo que se presenta en [1] destaca por incluir como componente principal un **Sistema Experto (SE)** que gestiona de manera automática el uso de los recursos energéticos dentro del edificio, además de definir las características básicas necesarias en hardware (sensores de entrada y actuadores, sistema de comunicaciones, unidad central de procesamiento, y bases de datos e históricos).

En los SGE, principalmente en los de distribución de demanda (DSM, Demand-Side Management) y transmisión y distribución de la energía eléctrica, es notoria la importancia de la predicción o prognosis de los consumos o demanda para poder tomar acciones de corrección de manera anticipada. Según [6, 7], entre las principales metodologías de estimación de la demanda energética se encuadran las siguientes:

- **Procedimientos Estadísticos:** Estos procedimientos se basan en la recolección de una gran cantidad de datos en el tiempo de los consumos energéticos. La predicción de las cargas se realiza mediante regresiones lineales, las cuales expresan la correlación matemática entre los diferentes factores.
- **Programas de Simulación Energética:** Este tipo de programas realiza la simulación de la realidad física, siendo necesario una gran cantidad de datos que permitan la descripción detallada de la planta (usualmente, un edificio). Estos programas permiten modelar los consumos en calefacción, iluminación, y cargas eléctricas, entre otros. Las simulaciones se basan en dos metodologías:
  - Métodos analíticos, los cuales resuelven las ecuaciones diferenciales asociadas a los fenómenos térmicos.
  - Métodos numéricos, que resuelven el sistema por análisis de elementos finitos.
- **Sistemas Inteligentes:** Este tipo de sistemas se basan en redes neuronales y sistemas expertos. Los sistemas expertos “toman decisiones” basándose en la interpretación de los datos y selección de alternativas.

Estas metodologías enumeradas difieren principalmente en el tipo de los datos de entrada que requieren, y en cuándo y dónde se usan. Por su parte, el volumen de datos de entrada requeridos por las diferentes metodologías difiere según el grado de precisión de los cálculos.

Un método estadístico necesita principalmente mediciones de carga, características climáticas y alguna información básica sobre la estructura del edificio. Los programas de simulación, por otro lado, no necesitan medición de cargas, pero si información detallada sobre las características físicas de las edificaciones. Los sistemas expertos o inteligentes requieren información adicional sobre el comportamiento de los consumidores, por ejemplo, parámetros sociológicos. También procesan datos de cargas, características climáticas, y características de comportamiento de sus ocupantes, entre otros muchos datos. En general, cuanto mayor sea la información que se le entregue al sistema de procesado de información, mejores serán los resultados obtenidos por éste.

Las tres metodologías anteriores pueden entregar predicciones a corto y largo plazo para las cargas y la energía consumida, dependiendo de la precisión de los parámetros entregados. Como es obvio, las predicciones a largo plazo resultan del mayor interés para el planteamiento y operación sobre el sistema energético, mientras que las de corto y medio plazo actúan principalmente sobre la gestión de las curvas de carga.

En la literatura científica, y dentro de la metodología de sistemas inteligentes, para la predicción de cargas predomina el uso de **Redes Neuronales Artificiales**, en las que el punto clave que diferencia los resultados obtenidos es la variación del método de entrenamiento de las redes. Por ejemplo, se plantea el uso de algoritmos híbridos en [8], técnicas Bayesianas en [9], e incluso la combinación de redes neuronales con lógica difusa para poder introducir en la predicción de consumos el comportamiento adoptado por los usuarios en un sistema de facturación, donde el costo de la energía dependa del momento del día donde se realice el consumo [10].

Por otro lado, el paradigma de los **Agentes Software** (inteligencia autónoma distribuida) está también siendo aplicado a la gestión energética, con especial énfasis como herramienta para la gestión de la demanda en un contexto eléctrico en un mercado desregulado, donde la proliferación de pequeñas y medianas plantas, especialmente de energías renovables, empieza a generar un problema de coordinación de la producción y la demanda de energía eléctrica [11].

Los Agentes Software se presentan como una herramienta potente para apoyar la construcción de la nueva generación de SGE, que se ven enfrentados a un ambiente de incertidumbre e inestabilidad en la gestión de los sistemas de potencia actuales, que incluyen no sólo supervisión y gestión de cargas, sino también de generadores alternativos, muchas veces de energía renovable (fotovoltaica, eólica, química,...).

En el **sector industrial**, por otro lado, la Gestión Energética se ha enfocado hasta el momento en la monitorización y gestión "pasiva" de la energía, como se plantea en [12] y en [13]. En la Figura 2.1 se presenta un diagrama que muestra la estructura básica de los sistemas de gestión actuales.



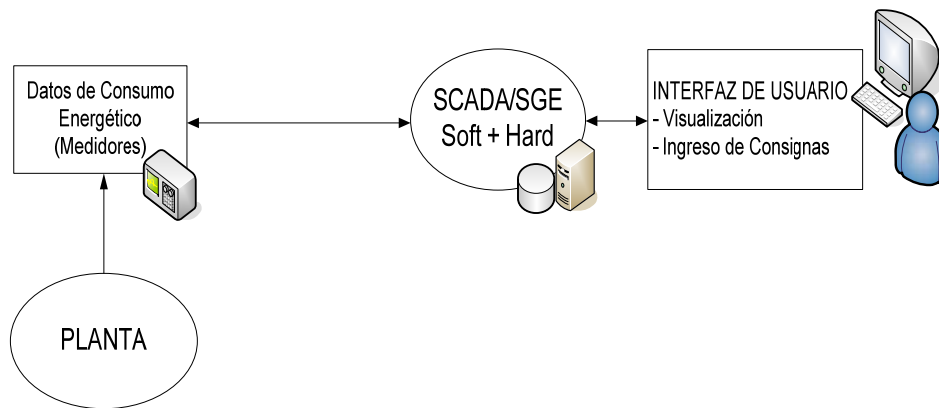


Figura 2.1. Sistema de Gestión Energética clásico.

Estos sistemas de supervisión se fundamentan en la recopilación de información a través de medidores de energía (eléctrica, gas, agua, etc.), que es llevada a un sistema SCADA u otro software de gestión de información, cuya función es recopilar los datos, almacenarlos y presentarlos de manera apropiada a los usuarios. Dicho software está en capacidad, además, de analizar los datos y generar reportes para detectar puntos críticos de consumos.

La principal ventaja, en estos sistemas de supervisión, es que habilitan al usuario para controlar costes de consumos y, a través de las auditorías energéticas que se soportan en los datos recolectados permanentemente, mejorar la eficiencia energética de la planta, sus procesos y dispositivos.

Este tipo de sistemas de supervisión automatizada que permiten el seguimiento continuo de los datos tienen la capacidad de incrementar el ahorro energético si se comparan con la aplicación de las estrategias tradicionales, como auditorías energéticas sin soporte de herramientas de adquisición permanente de datos. El Departamento de Energía (DOE) de EE.UU. publicó un estudio realizado en 900 edificios donde se implementaron proyectos de eficiencia energética, y encontró que en los que se usaron las mejores prácticas en mediciones y verificación obtuvieron más altos ahorros (tanto al comienzo como en el transcurso del tiempo después de implementado el sistema) en comparación con los otros proyectos, produciendo un retorno adicional del 10% sobre la inversión [14].

Adicionalmente en [14] y [15], se proponen modelos simples, basados en regresiones lineales de la energía a consumir versus producción programada, de los procesos o de la planta en general, para realizar predicción de picos de demanda que permiten al SGE actuar para tomar algún tipo de acción para tratar de eliminarlos, por ejemplo activando generadores electrógenos en las horas de mayor demanda. *Esto es una primera aproximación de agregar a los SGE la capacidad de actuación para el control de los picos de demanda.* Sin embargo los modelos usados y los mecanismos de actuación son simples y no hacen uso de herramientas avanzadas de análisis, predicción y control que pueden mejorar significativamente el desempeño del sistema sin afectar significativamente la producción o confort y teniendo en cuenta en todo momento funciones de coste que ayuden al sistema siempre a tomar la opción más óptima. Algunas de estas herramientas vienen siendo usadas en campos similares con

excelentes resultados, por ejemplo para predicción o prognosis de consumos o demandas para transmisión y distribución de la energía eléctrica por parte de las empresas eléctricas en un mercado eléctrico desregulado [9, 16, 17]; En este mismo campo, el uso de Sistemas Expertos (SE) y otros paradigmas de inteligencia artificial también han sido ampliamente utilizados para hacer más eficiente la gestión energética [18-20], como se mencionó anteriormente en este mismo apartado.

En conclusión, los **SGE actuales** se fundamentan, para el caso de edificios inteligentes, principalmente en el **control de las variables relacionadas con el confort** de los ocupantes en un edificio y se concentran en la gestión y optimización de la energía eléctrica usada por los sistemas de **calefacción, ventilación y acondicionamiento** del aire (HVAC, por sus siglas en inglés. Para el caso de los SGE en el sector industrial, se fundamentan en la **monitorización y análisis de datos** y empieza a introducirse la gestión activa y automatizada. Sin embargo, no se realizan en absoluto diagnósticos de desviaciones ni pronóstico de consumos futuros, aunque empiezan a aparecer en la bibliografía científica algunos trabajos relacionados con estos temas. Tampoco se incluye dentro del SGE la gestión de los generadores alternativos (conexión/desconexión, estabilidad, funcionamiento reversible, etc.), elementos que en breve plazo formarán parte de cualquier sistema eficiente de gestión de energía eléctrica.

## **2.5. Aplicación de un Sistema Experto (SGEI)**

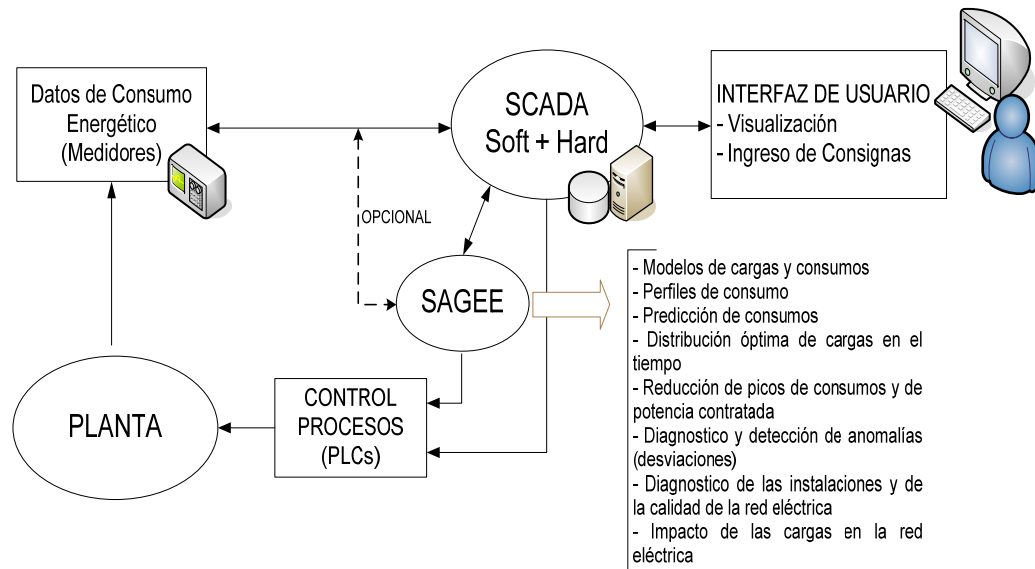
A partir del Estado del Arte actual, el sistema experto o sistema de gestión energética inteligente (SGEI) propuesto incluye de forma explícita la supervisión, el diagnóstico y la predicción de consumos futuros entre sus funcionalidades, así como la capacidad de control sobre los consumos de planta para evitar la aparición de puntas de consumo innecesarias. Esto significa que realiza no solo una supervisión y análisis de datos, sino también una **gestión activa avanzada e innovadora**, ya que está en capacidad de intervenir en los procesos de producción de manera automática e inteligente, siempre y cuando el usuario lo habilite para esto.

En la figura 2.2 se aprecia un modelo gráfico del sistema propuesto, como alternativa al modelo presentado en la figura 2.1. Podemos observar en la figura en cuestión que el SGEI tiene acceso a la información recopilada por el SCADA, o de manera alternativa, la podría tomar de primera mano de los medidores a través de los buses de campo. Además tiene capacidad de interactuar con los PLCs que ejercen el control sobre los procesos de producción, ya sea directamente o, nuevamente, a través del SCADA. El SGEI se fundamentará principalmente en su capacidad de crear modelos de carga y consumos a partir la información recopilada e ingresada por los usuarios, con los que podrá generar:

- Perfiles de consumo
- Predicción de consumos
- Distribución de cargas en el tiempo
- Reducción de picos de consumos y de potencia contratada
- Diagnóstico y detección de anomalías por medio de detección de desviaciones a los modelos

Como complemento para mejorar la eficiencia eléctrica y aprovechando la infraestructura del sistema, también podrá realizar las siguientes funciones:

- Diagnostico de las instalaciones y de la calidad de la red eléctrica entregada por el operador de red
- Determinar mediante medición de parámetros de calidad de energía, el impacto de las cargas en la red eléctrica



*Figura 2.2. Diagrama de bloques del Sistema Gestión Energética Inteligente propuesto.*

Tras el análisis de los sistemas de gestión energética actualmente disponibles y de la bibliografía científica disponible, el resumen general del estado del arte puede verse esquematizado en el figura 2.3, que presenta las herramientas actualmente utilizadas en SGE, y las áreas de innovación hacia donde apunta la investigación y el desarrollo tecnológico actual.

De la 2.3 podemos observar, en su parte superior, dos ramas, que representan las aplicaciones orientadas a los sistemas de adquisición, a la izquierda, y los sistemas orientados a la optimización, a la derecha, sin que ello quiera decir que no existan sistemas mixtos que cumplan ambas funciones. Cada rama a su vez se subdivide en aplicaciones en la industria y en edificios, y cada bloque que se desprende de estos dos sectores de aplicación, representan las funciones y características más relevantes que en la actualidad realizan los correspondientes SGE. Por eso, siendo congruentes con lo anteriormente dicho, tanto en edificios como en la industria, los sistemas de adquisición básicamente realizan análisis con los datos recolectados y presentan esta información al usuario a través de reportes.

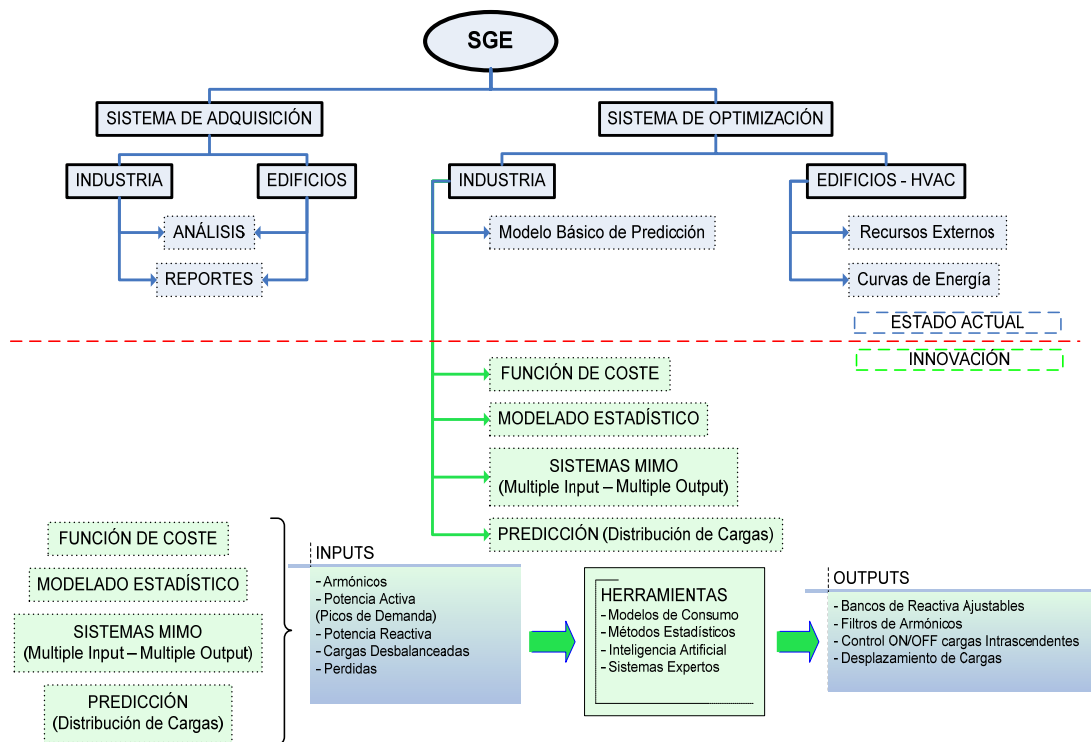


Figura 2.3. Herramientas actuales y tendencias en Sistemas SGE.

Estos reportes servirán de soporte a los expertos en gestión energética para tomar decisiones de mejora del uso de la energía.

Por el otro lado, en los sistemas de optimización para la industria se cuenta solamente con modelos básicos de predicción, que sirven para evitar picos de demanda y representan una primera aproximación a la gestión energética activa en dicho sector.

En cuanto a la gestión energética en edificios, tenemos funciones de control gestionadas por sistemas expertos que fundamentan la optimización en el aprovechamiento de los recursos del ambiente externos, como la iluminación solar y ventilación externa principalmente. Además, aprovechando que las cargas de los sistemas de confort, principalmente de climatización, son cargas no críticas, es decir, que su desconexión por segundos o incluso algunos minutos no generan cambios abruptos en la temperatura dentro del edificio o zona climatizada, se realiza la gestión de la demanda energética del edificio para eliminar los picos de demanda desconectando y conectando, tales cargas, según convenga.

En la parte inferior de la figura, bajo la línea punteada, se encuentran las funciones y herramientas que (apuntadas en la literatura científica) se proponen en este proyecto, y se considera innovadoras por la no existencia de antecedentes de éstas en aplicaciones comerciales, y por su escaso desarrollo en la literatura científica, especialmente en su aplicación a la gestión energética en plantas industriales. Muchas de estas herramientas, como se mencionó en párrafos anteriores, ya se están usando en otros campos de aplicación, principalmente en la gestión, transmisión y distribución de energía eléctrica, donde la planeación de consumos, y por lo tanto su predicción, juegan un papel muy importante desde la generación hasta la distribución [7].

El sistema SGEI estará en capacidad de generar alternativas de optimización energética, principalmente en la gestión de la demanda para evitar picos de consumo y reducir la potencia máxima requerida por la planta para su funcionamiento, con la premisa de mantener siempre la eficiencia en la producción y el confort y condiciones ambientales apropiadas. Para lograr esto, el sistema tendrá una **función de coste** que evaluará las alternativas generadas para evaluar la más óptima, según los criterios fijados por el usuario.

Por otra parte, para generar dichas alternativas (que inicialmente podrían ser simples desplazamiento de cargas en el tiempo), sería necesario contar con una predicción de los consumos de los procesos o máquinas, que estarán en función de parámetros tales como la producción programada, etapa o fase de producción, parámetros ambientales, y otras que se deberán investigar y analizar para cada tipo de empresa y proceso. Esta información será utilizada por las funciones que representarán los modelos de los procesos, de los que se obtendrán las predicciones de consumo requeridas.

Estos modelos deberán deducirse de manera automática o semiautomática, a partir de la información recolectada por el sistema y la información ingresada por el usuario. Para lograr esto se hará uso de herramientas de análisis estadístico y de inteligencia computacional.

Adicionalmente, los modelos obtenidos junto con la información estadística recolectada permanentemente por el sistema, podrán ser utilizados para realizar el diagnóstico de los procesos y las máquinas, a través de funciones simples de detección de anomalías.

Por otra parte, el SGEI también tendrá en cuenta la calidad de la energía eléctrica supervisada, aprovechando que muchos de los instrumentos modernos de medición de energía cuentan con la capacidad de calcular parámetros de este tipo. De esta forma se podrán hacer evaluaciones de la energía recibida desde el operador de red, y evaluar las distorsiones generadas por la planta (principalmente armónicos de corriente). Además, SGEI podrá ajustar el equipamiento auxiliar necesario de corrección de la calidad de la red (compensadores de reactiva, filtros activos, etc.).

Si bien estos equipos disponen de sus propios lazos (locales) de regulación, su integración en el sistema SGEI permitirá, además de un mejor dimensionamiento, conocer en qué medida afecta su uso a la eficacia del conjunto de la instalación.

## **2.6. Conclusiones**

En el ahorro y gestión energética que la sociedad le exige a las empresas e instituciones en sus plantas y edificios, los SGE entendidos como sistemas de monitorización y automatización de la gestión juegan un papel imprescindible, como lo demuestran las referencias actuales, si se quiere alcanzar el máximo de aprovechamiento de la energía.

La actuación o control sobre cargas no críticas y el uso de fuentes locales de generación renovable, son el siguiente paso para los SGE, que evolucionarán de

simples sistemas de monitorización y generación de reportes a verdadero control automático de las cargas y fuentes de generación.

Para gestionar e integrar todas estas características mencionadas en un solo sistema y lograr una automatización de la optimización de los consumos, las herramientas de inteligencia artificial, tales como RNA, Sistemas Expertos, lógica difusa, Algoritmos Evolutivos, Agentes Software, que han demostrado su potencial y factibilidad de aplicación, serán herramientas esenciales.

El modelo planteado es un ambicioso sistema que busca sacar el máximo provecho de las herramientas de inteligencia artificial, integrar el monitoreo, el análisis inteligente de datos (reporte y gráficas) y el control automatizado sobre cargas no críticas y fuentes locales de generación de energía renovable, con el objeto de optimizar y gestionar de manera automática el consumo energético, y realizar gestión de la demanda para consumir al menos costo posible, sin afectar producción o confort, *aprovechando las nuevas condiciones que presenta un mercado energético liberalizado.*

### **3. Málaga Smart City**

#### **3.1. Necesidad**

Las redes de distribución de electricidad junto con todos los agentes involucrados en su operación, planificación y uso, especialmente los sistemas de información y las telecomunicaciones que los apoyan, afrontarán en los próximos años un fuerte cambio en su concepción.

Entre los motores del cambio cabe mencionar el impacto del cambio climático, la liberalización del sector eléctrico, el continuo crecimiento de la demanda de electricidad o el elevado desarrollo tecnológico en el campo energético y en las tecnologías de la información y la comunicación.

Especialmente destacable es la problemática del cambio climático. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (ipcc), las emisiones de gases de efecto invernadero ya han provocado un aumento de 0,6 grados en la temperatura media de la Tierra, y, de no hacer nada, podría llegar hasta 5 grados al final del presente siglo, con el impacto que ello supondría tanto en ecosistemas como en las economías. Para paliarlo, en los compromisos adoptados por la Unión Europea se plantea:

- Reducir un 20%, a nivel europeo, los gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990
- Incrementar la eficiencia energética, mediante un ahorro del 20% del consumo energético, respecto a las previsiones realizadas para 2020
- Conseguir que el 20% del consumo energético europeo sea producido con energías renovables

Como consecuencia, ya han aparecido políticas de promoción de renovables, de eficiencia energética, y de gestión comercial, así como nuevos productos tecnológicos y consumidores más concienciados e informados dispuestos a asumir un papel activo.

En definitiva, nos encontramos en un momento de grandes cambios, donde tenemos el reto de facilitar el acceso a la energía a todos nuestros clientes de una forma sostenible, competitiva y segura.

#### **3.2. Alcance**

Se inicia un proceso de transformación hacia un escenario donde la red de distribución eléctrica se gestionará activamente, manteniendo siempre los adecuados niveles de seguridad y calidad, tendrá una elevada presencia de generación distribuida - renovable y cercana al consumo- y donde el consumidor pasa a ser activo, racional y eficiente, decidiendo cuándo y cómo consumir según criterios económicos y sostenibles.

Esta transformación implicará un gran salto cualitativo y cuantitativo, pasando de unos cientos de elementos muy concentrados manejando pequeños volúmenes de datos, a miles de elementos distribuidos por el territorio manejando ingentes cantidades de información. En este nuevo escenario, donde miles de elementos intercomunicados en

tiempo real se deben coordinar de forma apropiada, cobra una especial relevancia el papel de las Telecomunicaciones y de los Sistemas de Información.

Los cambios más radicales que aparecen en la nueva red de la ciudad inteligente son:

- Gran aumento de la complejidad de la red de distribución secundaria.
- Previsible aumento del número de mini-generadores en la red de distribución secundaria (25kV).
- Aparición de multitud de generadores en la red de baja tensión que deberán funcionar de forma coordinada.
- Aparición de smart-meters para el control de la demanda y de la generación doméstica.

Los dos primeros ya existen en la actualidad, aunque probablemente sufran un importante aumento. El tercero presenta la mayor novedad, y precisará de un diseño basado en su estabilidad, seguridad y operación. El último permitirá que el control en tiempo real de la distribuidora llegue a los usuarios finales.

Finalmente, es importante enfatizar que todos estos sistemas tienen un punto de encuentro natural en los centros de transformación de la red de distribución secundaria, donde confluyen los sistemas básicos ADA, AMI, y DER (Advanced Distribution Automation, Automated Management Infrastructure, y Distributed Energy Resources).

### **3.3. Objetivos**

En el proyecto SmartCity, se desarrolla un demostrador de la Red Inteligente, donde Clientes y Distribuidora colaboran en la consecución del reto energético para disminuir el impacto sobre el medioambiente, incrementando la utilización de fuentes de energía renovables, aumentando la eficiencia energética, acercando la generación al consumo y concienciando al consumidor fomentando el consumo racional y eficiente; se constituye una Ciudad Inteligente donde se verán reflejados todos los avances y tecnologías necesarias que harán realidad la nueva era energética.

Para conseguir este reto, que se traduce en utilizar de una forma más óptima los recursos energéticos, es necesario cambiar el modelo actual de generación y consumo de electricidad para dejar paso a un nuevo modelo que optimiza las infraestructuras, facilita la incorporación de energías renovables y fomenta el uso racional de la energía, basado en:

- Muchas pequeñas unidades generadoras ubicadas cerca de los lugares de consumo, con un porcentaje alto de energía renovable, en lugar de pocas y grandes centrales generadoras muy críticas y habitualmente ubicadas lejos de los lugares de consumo
- Una infraestructura limitada de líneas de transporte de muy alta tensión que garantizan la estabilidad del sistema eléctrico, ya que en este proceso se incurren en unas pérdidas de energía por efecto Joule valoradas en, aproximadamente, el 5% del total de la energía transportada



- Millones de consumidores activos a los que llega la energía en baja tensión, en buena parte desde lugares cercanos, con diferentes opciones de servicio que les facilitarán un consumo más racional
- Sistemas distribuidos que llegan hasta las redes de baja tensión, con protocolos únicos estándar para diferentes equipos, y telecomunicaciones altamente fiables y de alta capacidad

Si en lugar de unos pocos grandes generadores se tienen muchos y pequeños, la red se hace más segura, pues el efecto de un fallo en alguno de ellos repercute en menor medida en el sistema global. Al mismo tiempo, si disponemos estos generadores lo más cerca posible de los puntos de consumo, es posible evitar las pérdidas antes mencionadas debidas al transporte y la distribución. El nuevo modelo aumenta la necesidad de control, de supervisión, de coordinación y, en definitiva, de integración, por lo que todo ello será factible con unos adecuados Sistemas de Información y unas Telecomunicaciones que faciliten la integración necesaria entre los miles de elementos que forma parte de esta red inteligente.

En Endesa somos muy conscientes del gran reto que supone una innovación rompedora como la que supone la Ciudad Inteligente de SmartCity, y estamos convencidos de haber concebido un proyecto sólido y bien estructurado que asegure el éxito de la solución, atendiendo a:

- La necesidad social. Hoy en día el acceso a la energía es fundamental en la vida diaria de las personas: la electricidad equivale a bienestar y prosperidad. Debemos dar respuesta al continuo crecimiento de la demanda de electricidad desde modelos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.
- Definición estratégica. El uso racional de la energía, la utilización de sistemas eléctricos más eficaces, el mayor aprovechamiento de los recursos locales y la integración de los sistemas de información para la gestión inteligente la red permitirán alcanzar los niveles de eficiencia, de fiabilidad y de seguridad exigidos.
- Ejecución táctica. El empleo de tecnologías emergentes como la generación distribuida, la automatización avanzada de la Red de Distribución, el control de la demanda y, sobre todo, las tecnologías de la información y comunicaciones es fundamental para coordinar el gran número de elementos para la gestión inteligente de la red.

La clave fundamental del concepto SmartCity es la integración, y para ello será necesario intercomunicar un gran número de infraestructuras eléctricas y sus sistemas asociados. A este respecto, las comunicaciones son el medio fundamental para hacer funcionar toda esta estructura de dispositivos comunicables; los dispositivos de protección, de control, de regulación, de medida y de control deben encontrarse interconectados en una red con unos niveles excelentes de calidad y fiabilidad, dejando atrás un modelo con sistemas de control típicamente centralizados para dar la bienvenida a un sistema de decisión altamente distribuido e integrado.

El proyecto SmartCity evidencia la consecución de los compromisos fijados en materia energética a nivel internacional:

- Disminución del impacto ambiental de nuestro consumo energético, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. gracias al aumento de las energías renovables en el global de la energía producida y al dar acceso al consumidor a información sobre la eficiencia de su consumo, ayudando así a la racionalidad del mismo y facilitando el cambio de hábitos.
- Demostrar y contribuir al protagonismo que adquiere el consumidor y su implicación de forma activa en la cadena de valor de la gestión de la energía, favoreciendo la creación de una conciencia social hacia comportamientos respetuosos con el medio ambiente.
- Incremento de la eficiencia energética, reduciendo las pérdidas que se producen en las líneas debidas al transporte y la distribución de la energía, especialmente en horas punta de demanda, evitando de este modo la necesidad de ampliar la capacidad de la red para satisfacer situaciones punta de demanda.
- Aumento de la calidad y garantía del suministro de energía eléctrica, haciendo la red de distribución más fiable, eficiente y segura.

### **3.4. Agentes participantes**

El consorcio creado para desarrollar el proyecto SmartCity - Conectar de forma inteligente- está formado por más de 25 empresas, divisiones y organismos de investigación. Con el fin de conseguir los objetivos científicos, técnicos y económicos propuestos, los participantes en el proyecto aportarán los recursos materiales y humanos más adecuados en cada una de las fases del proyecto.

Las entidades seleccionadas para llevar a cabo el proyecto SmartCity destacan por su capacidad y complementariedad en cuanto a las áreas temáticas de especialización, reparto de tareas y ponderación de la participación pública y privada en la estructura, así como su capacidad técnica y de gestión.

Este Consorcio es una agrupación bien cohesionada desde el punto de vista de la Industria, la Universidad, los usuarios finales, los proveedores de servicios y Herramientas y los centros de investigación formada por las siguientes entidades:

- |               |   |
|---------------|---|
| ▪ ENDESA      | ▪ AICIA   |
| ▪ GreenPower  | ▪ CIEMAT  |
| ▪ Isotrol     | ▪ CIRCE   |
| ▪ IBM         | ▪ FIDETIA   |
| ▪ Sadiel      | ▪ Fundación Universidad de Oviedo                       |
| ▪ Acciona     | ▪ Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial |
| ▪ Ingeteam    | ▪ IREC  |
| ▪ Ormazábal   | ▪ Labein-Tecnalia                                       |
| ▪ Telvent     | ▪ Universidad de Córdoba                                |
| ▪ Neo Metrics | ▪ Universidad de Málaga                                 |
|               | ▪ Universidad de Mondragón                              |

- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad Pontificia Comillas
- Centro de Transferencia Tecnológica La Salle

### **3.5. Grupos de trabajo**

El proyecto SmartCity está compuesto por doce Work Packages (wp) o grupos de trabajo, que a continuación se detallan.

#### **3.5.1. WP01 Gestión y seguimiento del Proyecto**

El objetivo de este grupo de trabajo es la consecución global de los objetivos del proyecto SmartCity. Lleva a cabo la coordinación general entre todos los participantes y la gestión de los recursos, prestando soporte y seguimiento a todos los equipos de trabajo. Desarrolla su actividad a lo largo de todo el proyecto, y entre sus cometidos destacan:

- La definición y la planificación del proyecto
- El seguimiento y el control del proyecto y la gestión de la calidad
- La integración de conclusiones y el cierre del proyecto

#### **3.5.2. WP02 Despliegue operativo y Plan de Comunicación**

Este grupo de trabajo se ocupa de la comunicación pública del proyecto y de la gestión del despliegue operativo a lo largo del mismo. Concretamente:

- Lleva a cabo todas aquellas tareas relacionadas con el conocimiento de la zona de despliegue de SmartCity.
- Garantiza el máximo conocimiento, repercusión y difusión de los resultados técnicos y sociales

#### **3.5.3. WP03 Armonización con DENISE**

Este Work Package se asegura de que las investigaciones, los conocimientos y los resultados científicos producidos en el proyecto cenit DENISE (Distribución Energética, Inteligente, Segura y Eficiente) son aplicados al proyecto SmartCity.

El proyecto DENISE persigue sentar las bases de una red de distribución eléctrica inteligente, segura y eficiente, que de respuesta a la incorporación creciente de energías renovables (generación distribuida), a la necesidad de avanzar hacia la eficiencia energética y el desarrollo sostenible y las exigencias de calidad del suministro, a través de una red activa, de alta interoperabilidad e integración y que dé cabida al consumo activo.

Específicamente, el wp03 se ocupa de:

- Supervisar el diseño global de la solución y los resultados obtenidos.
- Desarrollar un esquema de relación entre los proyectos DENISE y SmartCity.

#### **3.5.4. WP04 Telecomunicaciones**

Las comunicaciones constituyen el nexo de unión para todas las aplicaciones que componen SmartCity, por lo que debe implementarse una red de comunicaciones que

permita el intercambio de información y la gestión de la red de manera rápida y eficiente. Este grupo de trabajo se ocupará de:

La definición física y lógica de los sistemas de telecomunicación

Desarrollo del sistema de PLC, tecnología óptima para la red de comunicaciones necesaria, gracias a la utilización de la infraestructura existente, la disponibilidad para un despliegue rápido y masivo y la posibilidad de integrar gran cantidad de servicios sobre un mismo medio

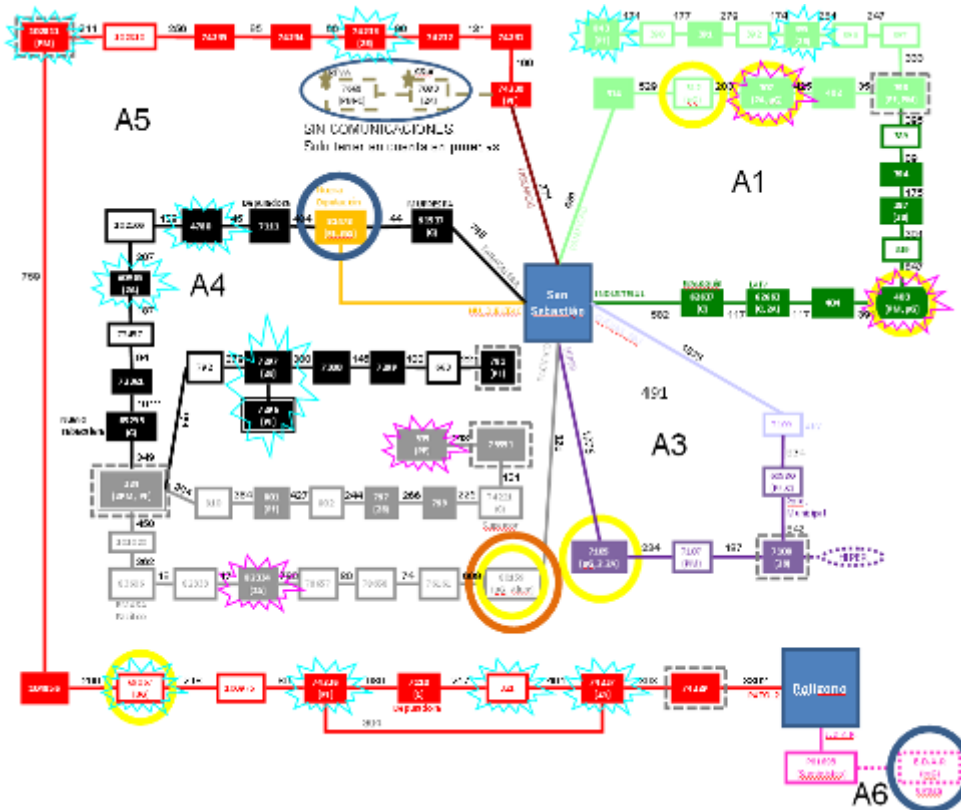


Figura 3.1. Red PLC SmartCity

Ingeniería y despliegue de los sistemas de telecomunicaciones. Monitorización de la red

### 3.5.5. WP05 Sistemas

Los objetivos del wp05 se centran en desarrollar y adaptar los sistemas de información para dar soporte a las necesidades de SmartCity, donde entran en juego la operación y explotación de la red eléctrica con usuarios finales involucrados. Para ello, se desarrollarán nuevos sistemas, se ampliarán algunos de los ya existentes y, finalmente, se integrarán y se pondrán en marcha todos ellos.

Este *Work Package* desarrollará las siguientes tareas:

- Asesoría tecnológica: funciones de master integrator, con el objeto de tener una visión integrada e integradora de las tecnologías, la información, los dispositivos y los sistemas en las redes inteligentes de distribución

- Monitorización de comunicaciones, para la gestión de fallos, del rendimiento y de inventarios
- Desarrollo de los Sistemas de Telegestión, para la gestión activa de la demanda
- Desarrollo del Sistema de Distribución, integrando a los elementos de Generación Distribuida y la gestionando los nuevos elementos de automatización avanzada
- Desarrollo del Sistema de Monitorización
- Desarrollo del Sistema de Adquisición de Datos
- Ingeniería y Pilotaje: se establece un puesto central donde monitorizar y gestionar la red inteligente, para así identificar y evaluar arquitecturas, dimensionamientos y operativas adecuadas para la explotación
- Desarrollo del Sistema de Gestión Activa de la Demanda: gestionará señales de orientación y de control de la demanda para el funcionamiento eficiente de SmartCity, según criterios de optimalidad
- Sistema Consumer Portal: elemento clave en la visión de SmartCity, que permite a los consumidores tener realimentación activa y en tiempo real de parámetros como su consumo o su impacto en el medioambiente, así como interactuar con funciones predefinidas orientadas al consumo responsable
- Sistema de Gestión de Vehículos Eléctricos, en estrecha colaboración con el wp12, de Vehículos Eléctricos (v2g).
- Sistema Colaborativo, en entorno Web 2.0, para la gestión operativa del proyecto SmartCity
- Disposición y configuración de la infraestructura tecnológica: hardware y software

#### **3.5.6. WP06 Automatización de la red de MT**

El objetivo de este WP es implantar un Sistema Inteligente de Automatización para una red de MT que proporcione una solución óptima a las necesidades económicas, funcionales y de explotación que el sector eléctrico va a demandar, incidiendo en la integración de todos los equipos electrónicos inteligentes que intervienen en una red de MT, con el objeto de controlar la topología de la red y los elementos de generación conectados. Para ello, se llevan a cabo las siguientes actividades:

Análisis y estudio de requisitos para la automatización

Selección y adquisición de equipos

Reestructuración de arquitectura y procedimientos: adaptación de la actual topología y arquitectura de la red MT a la nueva definida, y desarrollo de procedimientos para su explotación y mantenimiento

Integración e instalación de la aparamenta y de los dispositivos necesarios

Pruebas y conclusiones: comprende las pruebas de campo y de adquisición de la información necesaria para poder sacar conclusiones de los resultados de las pruebas,

de manera de puedan servir de base para futuras automatizaciones de líneas de media tensión

### **3.5.7. WP07 Mini Generación y Almacenamiento (mDER)**

El principal objetivo de esta actividad es el de desarrollar la tecnología necesaria para el acondicionamiento de potencia de los generadores de energía a la red en MT. Se propone también el desarrollo de los sistemas de acondicionamiento de potencia para integrar sistemas de almacenamiento de energía teniendo en cuenta la regulación de la potencia reactiva en nodos de la red eléctrica del proyecto.

Las actividades de este grupo de trabajo son las que se detallan a continuación:

- Estudios de viabilidad y diseños técnicos

Se realizan las especificaciones funcionales en cuanto a integración de mini generación y almacenamiento, y almacenamiento en centros de transformación: ubicación, políticas de control, señales analógicas y digitales intercambiadas, sistema de monitorización y medida necesario. Además, se procede al diseño y análisis en simulación de dichos sistemas y la viabilidad técnico-económica de las soluciones de almacenamiento.

- Ingeniería, compras y permisos
- Instalación y adquisición de equipos
- Integración en la red de la SmartCity y explotación
- Se pretende realizar la integración de la generación de energía renovable y el almacenamiento de la energía en la red de MT.

### **3.5.8. WP08 Eficiencia Energética y Gestión Activa de la Demanda**

Los objetivos de esta actividad se centran en el desarrollo de sistemas de gestión energética enfocados prioritariamente hacia clientes residenciales, aunque se realizará también alguna acción en el campo empresarial o de edificios públicos.

Se pretende conseguir un cambio en los hábitos de consumo de los clientes finales, ya sean residenciales, del sector terciario o pymes, mediante la puesta a su disposición de tecnologías energéticas de última generación que persiguen la sostenibilidad y el respeto medioambiental

Se ha realizado un análisis exhaustivo de los productos existentes a nivel mundial que podrían ser aplicables al proyecto SmartCity. Para la selección de las soluciones tecnológicas, se han utilizado los siguientes criterios:

- Capacidad de las soluciones para responder a los principales servicios.
- Tecnología y medio de transmisión.
- Coste y facilidad de instalación.
- Diversidad de soluciones.
- Madurez tecnológica.
- Posibilidad de ofrecer servicios especiales.

También se han analizado las tecnologías de comunicaciones más vanguardistas. Por último se ha diseñado una primera versión del catálogo de servicios de eficiencia energética y gestión activa de la demanda, con una amplitud suficiente para poder seleccionar aquellos servicios que mas interese mostrar para maximizar el impacto en la eficiencia energética y la gestión de la demanda. El alcance del proyecto abarca cinco ámbitos principales: clientes residenciales, pymes, gestión energética inteligente en edificación, servicios avanzados sobre una plataforma de iluminación pública y alumbrado público eficiente. Las tareas realizadas por este grupo de trabajo son:

- Requisitos generales, estudio de perfiles de clientes y servicios a implantar en el piloto
- Diseño de solución técnica para servicios avanzados
- Se eligen los dispositivos de monitorización, y se adapta su diseño y tecnologías de control energético y gestión de la demanda (HW). Además, se desarrolla un sistema energético integral de la demanda en el hogar, que gestione la energía generada y consumida.
- Construcción de la solución y puesta en servicio
- Se instalan los dispositivos de monitorización y control en los hogares, los dispositivos de gestión de la demanda en pymes y HW de control asociado. Se procede a la conexión de los dispositivos y a la puesta en marcha de la comunicación y los flujos de datos entre los hogares y los sistemas centrales, y entre la distribuidora y los clientes de hogares y pymes.
- Explotación y observación de resultados
- Gestión energética inteligente en edificación
- Se procede a dotar a un edificio de una gestión energética inteligente que permita optimizar el uso, generación y consumo de la energía en el edificio. Para ello, se estudian los condicionantes ambientales de la zona y su impacto en el aprovechamiento energético del edificio, y se hace un análisis y asesoramiento en eficiencia energética del anteproyecto de edificación.
- Generación distribuida y servicios de valor añadido en iluminación pública
- Se realiza un análisis económico y técnico de las funcionalidades propuestas: creación de luminarias en DC y ubicación óptima dentro de la SmartCity. Se procede al diseño de los dispositivos de iluminación y a la fabricación y/o adquisición de los mismos. Posteriormente se implantan un conjunto de veinte luminarias en la zona pública, con los consiguientes sistemas de control (UCL), cuadro de alimentaciones, sistemas de comunicaciones por lámpara, con el cuadro de conexiones y con la Web a través de una conexión a Internet. Por último se pone en marcha el sistema completo durante un período de pruebas y se extraen datos de rendimiento del mismo.
- Sistema de alumbrado público eficiente
- Se desarrolla un sistema inteligente de alumbrado público comunicado por onda portadora, que permita la identificación de fallos por luminaria, atenuación de los niveles de alumbrado fuera de las horas de máxima necesidad y asegurar el correcto encendido y apagado de las luminarias, así como su integración en un sistema de control de la demanda para asegurar la sostenibilidad y estabilidad de la red de suministro eléctrico.

### **3.5.9. WP09 Automatización de la red de BT**

El objetivo de esta actividad es implementar la inteligencia de red en el segmento de baja tensión, que contemple una solución basada en un sistema distribuido formado por multitud de dispositivos electrónicos inteligentes (*iSockets*) y nuevos retos de la integración de los nuevos Sistemas de Generación Distribuida, junto con la necesidad de disponer Sistemas de Almacenamiento de Energía. Esta implementación mejorará la estabilidad del sistema eléctrico, ofreciendo la máxima información para obtener la óptima y más eficiente explotabilidad de red. Las tareas llevadas a cabo por este grupo son las siguientes:

- Análisis y estudio de requisitos

Se estudian los puntos de generación existentes, así como la incorporación de nuevos puntos de micro generación y micro almacenamiento, para proceder a su automatización.

- Selección y adquisición de equipos

Se contempla la incorporación de un equipo adaptado a las necesidades de la red de BT que facilite la automatización (conexión y desconexión) de todos aquellos puntos de los que se disponga micro generación y micro almacenamiento en la red de BT, y que a su vez modelice ese punto para aportar aguas arriba toda la información necesario al iNodo de MT. También se diseña un cuadro de BT por cada microrred integrada en el sistema.

- Adecuación de procedimientos

Se adquieren equipos de monitorización BT y establecen procedimientos de acuerdo a la nueva topología para su explotación y mantenimiento.

Integración e instalación

Se realizan los trabajos de instalación de los distintos equipos iNodo BT, así como su parametrización y puesta en marcha; además se instalan los equipos y sensores necesarios para la monitorización.

- Pruebas y conclusiones

Se realizan pruebas de campo y adquisición de variables definidas como resultados de pruebas, extrayendo las correspondientes conclusiones.



### **3.5.10. WP10 Micro Generación y Almacenamiento ( $\mu$ DER)**

El objetivo principal de la actividad es la integración de los sistemas de generación de energía renovable y almacenamiento de energía en la red de BT. Para llevar a cabo dicho objetivo se realizará el despliegue de un conjunto de módulos (alrededor de 20 puntos) de generación y/o almacenamiento domésticos en la red de BT mediante el concepto modular de microrredes en alterna o continua de entre 5kW y 20kW cada punto, compuestas por un conjunto de aerogeneradores, placas fotovoltaicas o sistemas de microgeneración interconectados en corriente continua o alterna. A estas redes se les añade un conjunto de elementos de almacenamiento (baterías y/o súper condensadores, con el objetivo de integrar los diferentes módulos en la red global de la SmartCity.

Las actividades desarrolladas por este grupo se detallan a continuación:

- Estudio técnico-económico y Diseño Técnico

Se definen las especificaciones técnicas generales de microgeneración y microalmacenamiento, además de la funcionalidad de los sistemas de monitorización y medida necesarios para la correcta integración del SmartCity. Por otra parte, se analizarán las opciones existentes de almacenamiento respecto a parámetros como la vida útil de la batería, el coste, su disponibilidad en el mercado y su mantenimiento y reciclaje. Se estudian sus posibles ubicaciones dentro de la microrred, y se procede al desarrollo de un prototipo de almacenamiento y su consiguiente simulación e integración en la red.

- Ingeniería, gestiones y permisos

Se realiza el proyecto técnico detallado de las microrredes en función de su ubicación, y se obtienen los permisos y tramitaciones necesarias para la misma.

- Instalación y adquisición de equipos
- Integración en la red de SmartCity y explotación

Se valida el comportamiento en explotación y operación de los sistemas integrados en la red mediante una serie de pruebas.

### **3.5.11. WP11 Automated Management Infrastructure (ami)**

El objetivo de esta actividad es validar que la alternativa de un sistema de telegestión sobre PLC de banda estrecha es compatible con el desarrollo de una Red inteligente de Distribución Eléctrica, es decir, que una red PLC es una opción económica y rentable para la comunicación entre contadores y concentradores. Con esta infraestructura se consigue una cobertura del 100% de la red de Distribución de Baja Tensión, siendo la opción con mayor valor añadido.

Las tareas asignadas al presente grupo son las enumeradas a continuación:

- Definición del sistema

Se especifican los requisitos del sistema de telegestión necesarios para el proyecto SmartCity, junto con la definición del modelo de datos amortizado, los servicios y ficheros de comunicaciones.

- Procedimientos de instalación y operación
- Definición del sistema de telegestión

Se lleva a cabo la especificación funcional del sistema de telegestión y su arquitectura, adaptándolo a las nuevas necesidades planteadas.

- Ingeniería y despliegue

Se realiza un despliegue inicial de un número significativo de contadores, estudiando la viabilidad técnica y económica del sistema de telegestión. Además se analiza la compatibilidad entre la solución de PLC adoptada para el sistema de contadores y las comunicaciones de la SmartCity.

- Monitorización de la Red de Telegestión

Se lleva a cabo la monitorización y explotación del sistema de telegestión, elaborando un informe final en el que se muestre la viabilidad técnica y económica del sistema desarrollado.

### **3. 5.12. WP12 Vehículos Eléctricos (v2g)**

Los objetivos de la actividad son el despliegue de una pequeña flota de vehículos eléctricos, con el objetivo de gestionar su carga de manera inteligente y a ser posible con el uso de renovables, diseñar las tomas de corriente urbanas inteligentes que permitan conectar al vehículo de forma segura evitando posibles accidentes y fraudes, aplicar la tecnología v2g a modo demostrativo e integrar las cargas en la red BT y estudiar su viabilidad tanto técnica como económica.

Las tareas asignadas a este grupo de trabajo son las siguientes:

#### Viabilidad técnico económica

Se lleva a cabo el estudio de viabilidad económica de las tomas de corriente, incluyendo su coste de fabricación, precio de venta, y el coste de homologación de los vehículos. Además, se procede al estudio de la red de BT correspondiente a la zona elegida para el proyecto, y la ubicación óptima de los puntos de recarga en función de la capacidad de las líneas y cts de la zona y la disponibilidad del suelo para su instalación.

#### Adquisición de equipos

Se trabaja con una flota formada por tres tipos de vehículos: cuatro motocicletas, cinco coches urbanos de pasajeros y tres vehículos utilitarios. Parte de esta flota se destinará para la funcionalidad v2g.

#### Diseño, implementación e integración

Se realiza un diseño de tomas seguras, eficientes e inteligentes, además de su viabilidad y óptima ubicación. Posteriormente se procede a su implementación e instalación.

#### Instalación y pruebas

Se realizan las pruebas de funcionamiento con baterías de laboratorio para la carga de los vehículos, y se procede a la instalación de los puntos de carga.

#### Integración en SmartCity y conclusiones

- Se estudia la integración de dichos componentes en la red, analizando el
- impacto de los vehículos y su comportamiento y extrayendo conclusiones.

### **3.6. Impacto del proyecto**

SmartCity persigue desarrollar un demostrador de la siguiente generación de la Red de Distribución Eléctrica, donde los clientes y las empresas de distribución colaboran en la consecución del reto energético, incrementando la utilización de las fuentes de energía renovables, acercando la generación al consumo y apostando por un consumo racional y eficiente.

El proyecto tiene un primer impacto en el cambio del modelo de red eléctrica: cambiar la forma de hacer las cosas para encaminarnos hacia un futuro mejor. En este sentido, Endesa tiene la oportunidad y el reto de liderar este cambio.

No obstante, es la sociedad, las personas, el cliente o «consumidor energético», quien se sitúa en el primer plano de la escena, ya que en la ciudad inteligente que se propone, son las personas quienes se beneficiarán en primer lugar de los servicios desarrollados.

La definición y creación de una SmartCity, se enriquece teniendo en cuenta el entorno social de la misma. De la misma forma que la tecnología es indispensable para construir una ciudad inteligente, los aspectos sociales, hábitos, costumbres y sensibilidades del cliente son esenciales para su funcionamiento.

El proyecto pretende contribuir a la creación del protagonismo que adquiere el consumidor y a su implicación de forma activa en la cadena de valor de la gestión de la energía, favoreciendo la creación de una conciencia social hacia comportamientos respetuosos con el medio ambiente.

El Medioambiente es un factor fundamental no sólo para el proyecto sino para Endesa en general. Así, uno de los objetivos directos es la disminución del impacto ambiental

de nuestro consumo energético, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> energético.

Endesa ha estado siempre comprometida con la utilización y desarrollo de tecnologías limpias que preservan el entorno natural, mediante el uso eficiente de los recursos. Este compromiso está en sintonía con el principio 9 del Pacto Mundial de Naciones Unidas, que indica que las empresas deben favorecer el desarrollo y la difusión de las tecnologías respetuosas con el medio ambiente

En resumen, este proyecto está en consonancia con los Compromisos de la Política de Sostenibilidad de Endesa como entidad cuyo objetivo no es únicamente el beneficio económico, sino también la contribución al desarrollo sostenible, reinventando el futuro.

#### **4. Microgeneración y generación distribuida en los hogares y en el sector terciario. Retos y oportunidades.**

El Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética EnergyLab se constituye como una fundación privada, sin ánimo de lucro, cuya misión es identificar, desarrollar, promover y difundir tecnologías, procesos, productos y hábitos de consumo que permitan la mejora de la eficiencia y sostenibilidad energética en la industria, la construcción, el transporte y en la sociedad en general. Con una visión de ser un Centro de referencia especializado en el impulso de la eficiencia y sostenibilidad energética con capacidad de orientar, coordinar y liderar proyectos innovadores con un impacto destacado sobre la sociedad, la economía, y el medio ambiente.

La micro-cogeneración – producción simultánea de calor y electricidad basada en la energía primaria contenida en un combustible, a través de sistemas de pequeña potencia, como el motor Stirling, las pilas de combustible o los motores alternativos de combustión interna – se prevé que contribuya a un aumento significativo de la eficiencia energética en los próximos años en los hogares españoles. Un despliegue significativo de esta tecnología podría cambiar radicalmente el sistema eléctrico y acercar la generación a los propios consumidores.

De igual modo, la microgeneración podría, en caso de ser apoyada por políticas regulatorias e incentivadoras, representar una parte considerable del sector energético, promoviendo además el desarrollo de innovaciones como las redes inteligentes o los gestores energéticos domésticos, al tiempo que se mejora la concienciación energética de los consumidores finales - especialmente el sector doméstico y terciario-.

En la siguiente comunicación se analiza el potencial impacto de la Microgeneración, como parte de las tecnologías de generación distribuida, en la actual red de distribución energética, las principales tecnologías disponibles actualmente y las barreras que presenta la tecnología para su futuro despliegue.

#### **4. 1. La generación distribuida en las ciudades dentro del concepto de “Smart Cities”.**

##### **4. 1. 1. Introducción. Contexto energético actual**

El sector energético actual se caracteriza, principalmente, por el gran peso de los hidrocarburos en la cesta energética, el aumento de la demanda del gas, una alta tasa de crecimiento de la demanda y una elevada dependencia energética del exterior, que ronda el 80% de importación de energía primaria.

Desde el punto de vista de la producción eléctrica en España, según los últimos datos publicados en el Libro de la Energía del año 2009, las fuentes energéticas principales siguen siendo la nuclear y las centrales de ciclo combinado mientras que el carbón reduce su aportación al mix energético. La generación de electricidad a través de las energías renovables se fortalece sin embargo hasta suponer aproximadamente un tercio de la generación eléctrica total. Dentro de estas últimas, cabe destacar, por ser tema de esta comunicación, el comportamiento de la cogeneración que, a través las distintas fuentes energéticas de las que hace uso (derivados del petróleo, gas natural, biomasa, etc.), suma un 14% de la generación eléctrica total. Un 16% si sumamos el aporte de la energía fotovoltaica por el carácter distribuido de la generación.

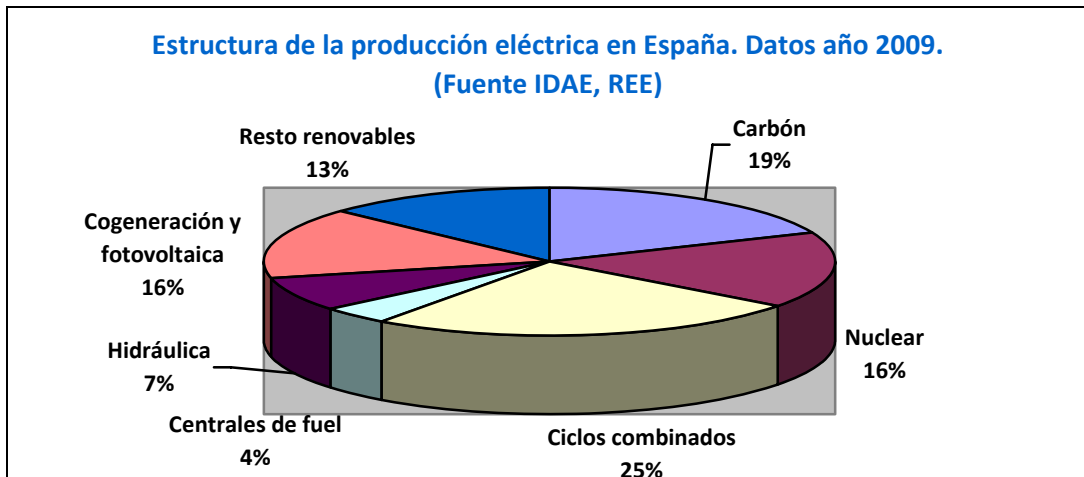


Figura 4.1. Estructura de la producción eléctrica en España. Fuente IDAE 2010.

A pesar de la reciente pujanza de ciertos tipos de generación distribuida en los últimos años, energía solar fotovoltaica, algunos tipos de cogeneración etc., el español es un sistema eléctrico basado en la generación centralizada a través de grandes centrales productoras de energía, transporte de la energía eléctrica generada a través de las grandes infraestructuras de alta tensión, y distribución en los puntos de consumo.

Existe por lo tanto una clara deslocalización entre los puntos de generación y los puntos de consumo, con los perjuicios técnicos que ello conlleva. Por una parte, las propias pérdidas inherentes al transporte de energía eléctrica a través de las redes de transporte y distribución. Este porcentaje se cifra en torno a un 13,8% -datos del IDAE y REE- para el suministro a los consumidores conectados a baja tensión. No sólo éstas pérdidas se producen en el transporte sino que, en la propia generación eléctrica en las grandes centrales energéticas existe un importante desaprovechamiento de energía térmica sobrante que se vierte al entorno, todo ello redundando en un menor rendimiento energético global de las mismas.

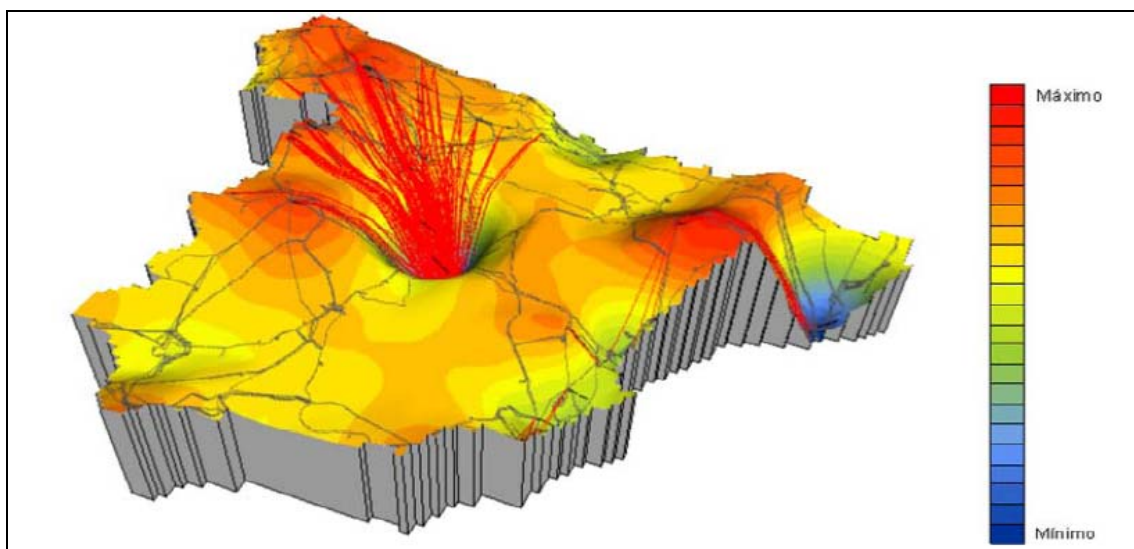


Figura 4.2. Balance generación media - demanda media (2008). Fuente REE.

Además, la dependencia de las grandes redes de transporte, así como las grandes inversiones necesarias para garantizar la creación de nuevas líneas o la mejora de las

existentes, implica la necesidad de realizar una planificación a largo plazo, con la posibilidad de saturaciones en el consumo o en la generación, que deben ser gestionadas por el operador de red para garantizar la máxima disponibilidad del sistema en todo momento.

#### **4. 1. 2. Generación distribuida. Microgeneración.**

En este contexto energético, la generación distribuida, esto es la producción de energía eléctrica conectada a la red de distribución, o a la red del propio consumidor, a diferencia de las grandes centrales conectadas a la red de transporte, puede jugar un papel fundamental en incrementar la sostenibilidad energética del sistema eliminando las constricciones geográficas del transporte energético, incrementando la competitividad del sistema y mejorando la calidad, seguridad, confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico.

La generación distribuida engloba un amplio catálogo de tecnologías, entre las que se incluyen una gran cantidad de tecnologías de carácter renovable que proporcionan suministro energético en emplazamientos próximos al consumidor final. Estos nuevos flujos de generación distribuida permiten reducir las pérdidas por transmisión eléctrica en las redes de larga distancia, en el orden del 7% para los países del OECD, y evitar posibles saturaciones en las redes de transporte.

Al tiempo que aumenta la demanda de una mejor calidad en el suministro energético, la generación distribuida puede ofrecer un suministro energético garantizado y con unos costes ajustados, tanto a pequeñas y grandes empresas como a consumidores particulares, garantizando la disponibilidad y seguridad del suministro energético, independientemente de que se produzcan incidencias en la red de distribución, permitiendo recuperar el suministro energético en un muy corto período de tiempo, o incluso funcionando de modo totalmente transparente para el usuario final.

Presenta una notable ventaja para aquellos usuarios que tienen una demanda base importante de energía térmica; mediante la utilización de sistemas de microgeneración. También para aquellos usuarios que tienen acceso a fuentes energéticas de bajo coste, como por ejemplo biogas u otros biocombustibles, y en aquellos casos donde las condiciones climáticas son adecuadas para el aprovechamiento de las fuentes renovables.

La generación distribuida puede además, estimular la competitividad del suministro energético, actuando como agente de mercado. Un operador de energía distribuida puede responder a los incentivos de mercado, así como a los precios de los combustibles y de la electricidad. De este modo el operador puede comprar o vender energía a la red eléctrica – exportando únicamente en momentos pico de demanda y comprando energía en situaciones valle.

La generación distribuida ofrece además las siguientes ventajas para los operadores de la red de transporte:

- ✓ Descarga de las líneas del sistema eléctrico, y por consiguiente aumento en la fiabilidad del suministro energético. Además puede limitar la necesidad ampliación de la red de transporte con el consiguiente ahorro en redes de transporte y centros de transformación; y reducción pues del impacto visual, y mejor aceptación social.
- ✓ Reducción de las pérdidas en la red de transporte y distribución. Mejora de la competitividad.

- ✓ Posibilidad de industrialización de zonas alejadas de las redes eléctricas de alta tensión. Suministro en zonas remotas.

Puesto que la generación distribuida, se basa en gran parte en fuentes energéticas de carácter renovable, como por ejemplo el biogas o la energía solar fotovoltaica; o se caracteriza por sus bajas emisiones; contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero, y por consiguiente al cumplimiento de los acuerdos internacionales de reducción de emisiones.

Las barreras a las que se enfrenta la tecnología de generación distribuida para un mayor despliegue son cada vez menos de tipo técnico o tecnológico, sino que están relacionadas con las restricciones existentes para la conexión a la red de distribución – especialmente para la microgeneración-, motivado por la inexistencia de una normativa específica que facilite el acceso a la red de dichos sistemas. De este modo, en la actualidad, las instalaciones de potencia máxima inferior a 50 kWe, que diversas fuentes cifran como el límite para la microgeneración, están reguladas por el mismo real decreto, RD 616/2007, que el que regula las instalaciones de hasta 500 kWe. Sería pues conveniente, la elaboración de una regulación específica para facilitar el despliegue de esta tecnología en los pequeños consumidores.

Además la actual incertidumbre en la política de precios energéticos, condiciona el resultado económico de los sistemas de microgeneración, además de dificultar la financiación de las inversiones necesarias.

#### **4. 1. 3. La red eléctrica convencional frente a los nuevos paradigmas (Smart Grid, Smart Cities)**

La actual red eléctrica es el resultado de años de desarrollo tecnológico y de fuertes inversiones públicas y privadas, donde la mayor parte de la electricidad es generada en grandes centrales de generación y transmitida a través de redes de transporte de alto voltaje. En este sistema, el flujo de electricidad circula en una única dirección: desde la central generadora hasta la red y hacia los consumidores.

La mayor penetración de las energías renovables y otras tecnologías de generación distribuidas, hace necesaria la implementación progresiva de una nueva arquitectura, de tal manera que las redes de distribución no actúen como meros observadores pasivos, si no que el sistema eléctrico en su conjunto actúe de manera coordinada. Además, la multiplicación de flujos en ambas direcciones, necesitará de un sistema con un grado de gestión cada vez más descentralizado, frente al sistema original gestionado desde la red de transporte.

Existen diferentes propuestas de arquitecturas de red, que proponen una progresiva deslocalización del control de la red, multiplicando la interconexión entre los distintos puntos e incorporando dispositivos y mecanismos de control a cada uno de los nodos de la misma, de tal manera que éstos controlen en todo momento los propios parámetros de la red que lo rodea compartiendo la responsabilidad de garantizar la estabilidad y seguridad de la red.

En una primera aproximación, cada una de las redes zonales tendría su propio centro de control donde se regularían los parámetros relacionados con el flujo de energía eléctrica entre los distintos nodos de áreas vecinas. De tal manera que el sistema disponga de sus propios sistemas de gestión basados en electrónica de potencia, como son los FACTS (Sistemas flexibles de transmisión de energía alterna), con una fuerte implementación de tecnologías de la información y comunicación (TIC), de tal manera que los flujos energéticos se puedan direccionar de manera efectiva entre los distintos nodos de la red.



Estos modelos de arquitecturas convergen, en un modelo futuro donde el control de la red esté totalmente distribuido, al modo de una red de redes de energía eléctrica, de tal manera que cada nodo de la red eléctrica actúe de manera autónoma bajo un protocolo unificado. Este sistema contará además, con sensores distribuidos a lo largo de la red y con sistemas inteligentes, de tal manera que, los flujos de electricidad se produzcan exactamente hacia donde y en el momento en el que se soliciten, con los costes asociados más bajos posibles. Esta capa de control se extenderá hasta los propios consumidores con protocolos de comunicación, que permitan de manera efectiva reducir el consumo en determinados momentos de estrés para la red, tecnología de la cual ya se están implementando algunos prototipos.

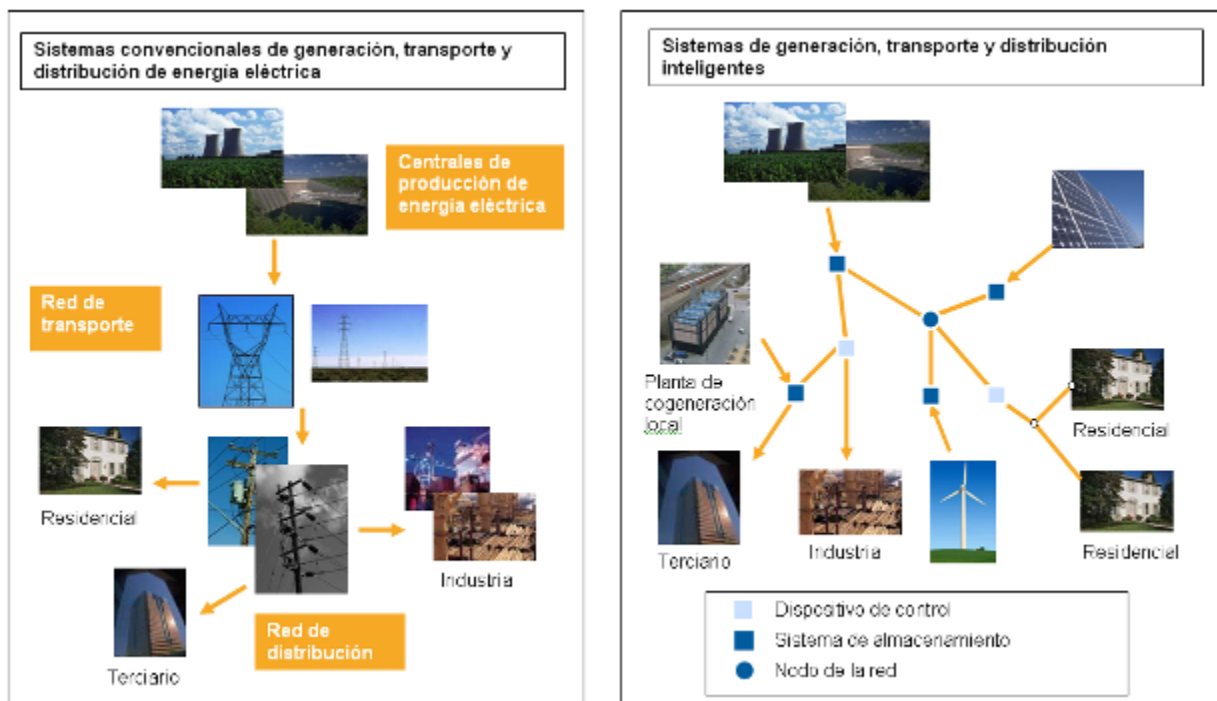


Figura 4.3. Arquitecturas de la red eléctrica.

Esta interconexión de tecnologías de la información y comunicación, junto con tecnologías de generación, transmisión y distribución de la electricidad es lo que se conoce con el nombre de “*smart grids*”, o “*redes inteligentes*”, en el sentido de que, recae, sobre cada nodo de la propia red, el control de los parámetros de la misma, y la gestión de los protocolos de comunicación. La implementación de este ramillete de tecnologías tiene como potencial el:

- ✓ Permitir a los consumidores gestionar su consumo y escoger las ofertas y de suministro energético más eficientes económica y medioambientalmente.
- ✓ Mejorar la confiabilidad y estabilidad del sistema energético a través de la automatización y la interconexión de los puntos de la red.
- ✓ Mejorar la integración en el sistema de las tecnologías de generación distribuidas, incluyendo las energías de carácter renovable, y el almacenamiento de energía.

#### 4. 1. 4. Generación distribuida en las ciudades. Concepto de “*Smart Cities*”.

El concepto de “*Smart Cities*” nace como complemento al concepto de arquitectura distribuida para las redes eléctricas. Desde el punto de vista de la red eléctrica, y bajo el paradigma de las redes inteligentes, las ciudades dejan de ser punto final de la red de transporte, para convertirse en una subred comunicada con el resto de nodos de la red y que dispone de sus sistemas de gestión y nodos de control; de tal manera que controla los flujos energéticos entrantes y salientes; así como integra todas las tecnologías asociadas a la generación distribuida, especialmente en lo referente a las energías renovables y a la microgeneración en el sector residencial y terciario, como ejemplos de tecnologías de muy bajas emisiones energéticas.

Así, los objetivos que se buscan, mediante la definición de esta arquitectura, son:

- ✓ Alcanzar una alta calidad de vida para los ciudadanos que habitan las ciudades.
- ✓ Convertir a las ciudades en un espacio medioambientalmente sostenible para las próximas generaciones.
- ✓ Aumentar el nivel de competitividad energética de las ciudades.
- ✓ Conseguir unos niveles de emisiones muy reducidos para las ciudades y regiones antes del año 2050.

Cabe destacar por su relevancia la declaración efectuada recientemente en el marco de la presidencia española de la Comisión Europea y dentro de las Conferencias Sectoriales desarrolladas en Madrid, donde se propone dentro de la “Iniciativa Smart Cities de la Unión Europea” (SEC(2009)1295) lo siguiente:

- ✓ “Avanzar hacia el año 2020 hacia una reducción del 40% en la emisión de GEI (gases de efecto invernadero) mediante el uso y producción sostenible de la energía” a través de:
- ✓ “Enfoques sistémicos e innovación organizacional, acompañando a las iniciativas de eficiencia energética, tecnologías de bajo carbono, y una gestión inteligente de la generación y la demanda energética”

En lo que a la perspectiva tecnológica se refiere, para avanzar en la incorporación de las redes del futuro en las ciudades, se requiere de un enfoque multi-tecnológico a través de sistemas integrados y gestión inteligente de los sistemas energéticos. Para ello, es necesaria la integración de tecnologías de comunicación e información junto con tecnologías energéticas, que permitan una gestión “inteligente” a nivel regional o urbano. Además se necesita de un enfoque prestacional, desde el punto de vista de las características de rendimiento energético de los edificios y de los sistemas de generación térmica y eléctrica. Utilización de nuevos métodos de planeamiento y operación de las redes eléctricas “inteligentes” y redes térmicas (calefacción y refrigeración), etc.

Desde el punto de vista de la generación energética, se apuesta por acercar la generación al consumo, mediante la utilización de tecnologías de generación distribuidas, dentro de las que se destacan las tecnologías de generación renovables y las tecnologías de cogeneración y poli-generación.

Ejemplo: Ciudad modelo “InnovationCity Ruhr”

Propuesta de de reducción de un 51% en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

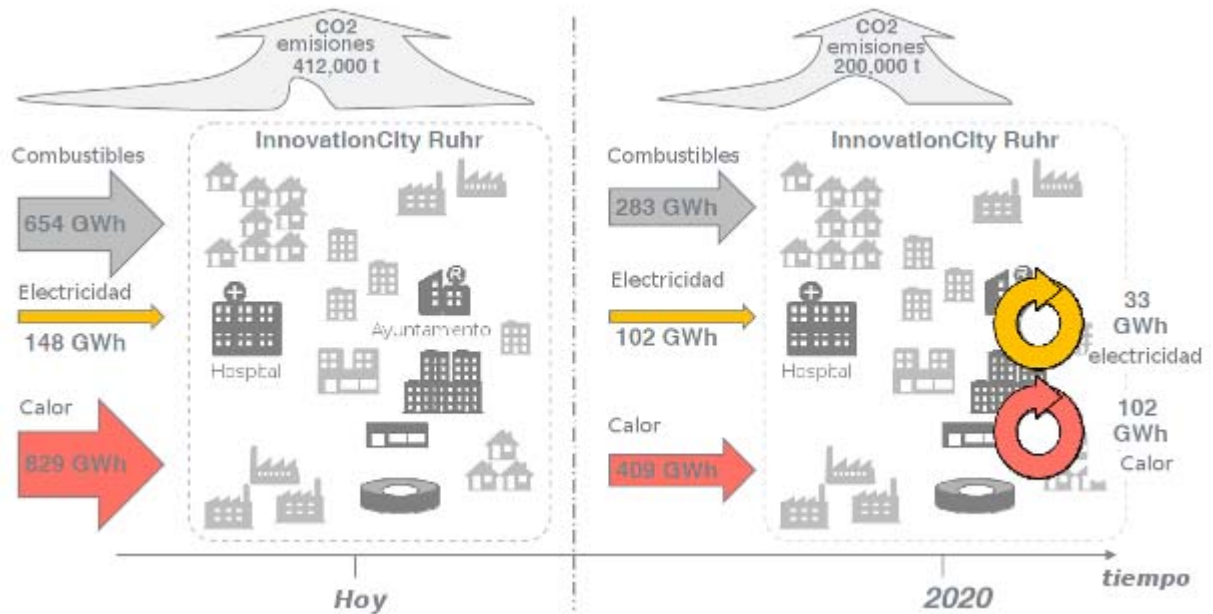


Figura 4.4. InnovationCity Ruhr. Fuente *Initiativkreis Ruhr*; A. T. Kearney

#### 4.2. Tecnologías de generación distribuida en edificios del sector terciario y residencial. Revisión de experiencias existentes.

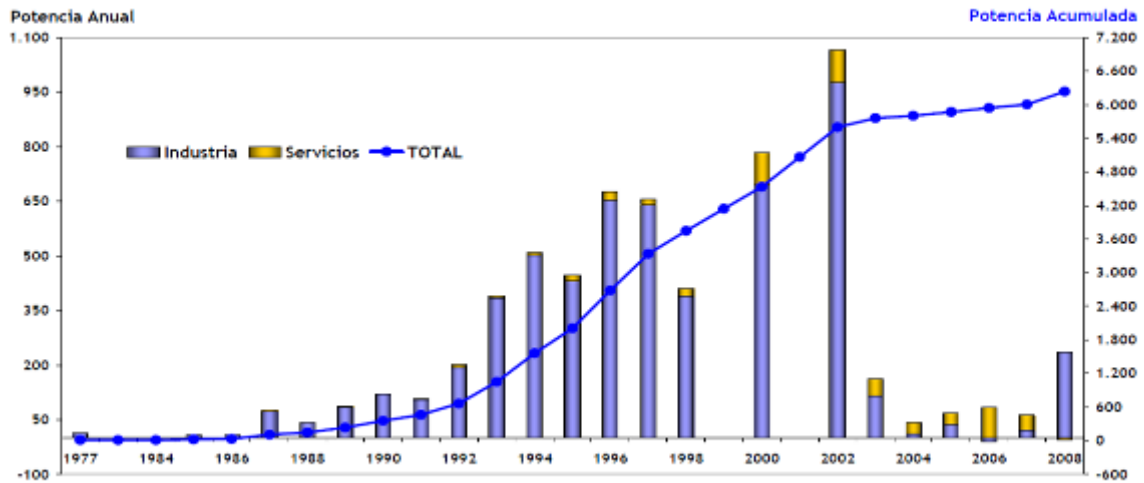
En este apartado vamos a analizar, dentro del grupo de tecnologías de generación distribuida, las tecnologías de microgeneración.

Comparadas con las fuentes tradicionales de generación térmica y eléctrica, las plantas de cogeneración pueden ahorrar hasta un 30% en consumo de energía primaria. Además, esto conlleva una disminución en las emisiones de CO2 de aproximadamente 0.5 kg por kWh de electricidad producida (Fuente: Directorio de la Energía de la Comisión Europea 2003). La micro- o la co-generación están especialmente indicadas para aquellos casos en los que la demanda de calefacción es continua y más o menos constante.

En España, para los datos del año 2009, la cogeneración supuso aproximadamente un 14% del mix energético con una potencia instalada de 6.486 MW.

Actualmente se aprecia un estancamiento en las cifras de potencia instalada en los últimos años. Esto no es fruto de la falta de potencial, puesto que existe un gran potencial para todos los sectores de actividad, sino que es un resultado de la incertidumbre regulatoria, y la necesidad de políticas de promoción.

**Evolución de la Potencia Instalada (MW) en Cogeneración en España: Total y Por Sectores**



Fuente: IDAE/MITYC  
 Nota: En los años 1999 y 2001 no se elaboró la estadística anual.

**Figura 4.5. Evolución de la potencia instalada en cogeneración en España. Fuente IDAE/MITYC.**

La mayor parte de potencia instalada en cogeneración se encuentra actualmente en el sector industrial (con un grado de penetración del 40%) y para grandes potencias. El crecimiento en pequeñas aplicaciones (microcogeneración) es lento pero el potencial es muy elevado, en particular para las aplicaciones de terciario con una alta carga de refrigeración, y para la microcogeneración en el sector residencial y doméstico a medida que aparecen nuevos equipos disponibles. Europa se ha fijado el objetivo de una producción energética a partir de cogeneración del 18% para el año 2010.

	Potencial tecnológico (MWt)	Potencia instalada (MWt)	Grado de penetración	Grado de disponibilidad
Industria	9.393	5.048	54%	46%
Refino	1.430	577	40%	60%
Residencial y Terciario	6.414	175	3%	97%
Tratamiento y valorización de residuos	2.084	412	20%	80%
TOTAL	19.321	6.212	32%	68%

**Figura 4.6. Potencial tecnológico de la cogeneración en distintos sectores. Fuente IDAE/MITYC.**

**4. 2. 1. Tecnologías existentes**

A continuación se exponen las características de las principales tecnologías de microcogeneración:

**a. Microturbinas**

Las microturbinas se basan en la ignición de un combustible en una cámara de combustión, lo que produce una corriente de gases a alta temperatura, presión y velocidad que hace girar la turbina produciendo energía mecánica.

Existen unidades individuales desde 30 a 200 kWe, y pueden ser combinados en unidades múltiples. Se caracterizan por una baja temperatura de combustión, lo que conlleva bajas emisiones de NOx.

Su rendimiento sólo eléctrico se sitúa entre el 15 y el 35%, mientras que el sólo térmico alcanza valores entre el 40 y el 59%. En total, el rendimiento del aprovechamiento combinado de calor y electricidad obtiene un rendimiento entre el 60 y el 85%, para una carga mínima del 75%.

#### **b. MACI**

Los motores alternativos de combustión interna (MACI), se basan en el aprovechamiento mecánico de los gases de un proceso de combustión para desplazar un émbolo o pistón obteniendo finalmente un movimiento de rotación. La energía eléctrica se obtiene mediante un alternador acoplado directamente al eje del motor y la energía térmica, en forma de gases de escape y de agua caliente de los circuitos de refrigeración.

El rendimiento en aprovechamiento sólo eléctrico, en este caso, es superior al de las turbinas de gas alcanzando el 45%, mientras que el aprovechamiento térmico se sitúa en valores similares a la turbina de gas, en torno al 60%, para un aprovechamiento combinado del 70 a 85%, permitiendo en este caso una carga mínima del 50%.

En este caso existen equipos disponibles desde 1 kVA hasta megavatios, y el combustible utilizado principalmente es el gasóleo o el gas natural. Gracias a las modernas tecnologías de control de emisiones, pueden alcanzar un bajo impacto medioambiental, y pueden trabajar con combustibles de origen renovable (biodiesel). Típicamente utilizados para suministro de emergencia, poseen características operacionales como arranque rápido y potencia controlable.

#### **c. Pilas de combustible**

Las pilas de combustible constituyen una tecnología emergente con un gran potencial para sustituir una gran parte de los actuales sistemas energéticos. Se componen de dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química contenida en un combustible en energía eléctrica, mediante una reacción en la que, generalmente, el hidrógeno cede electrones al oxígeno. De esta reacción se obtiene electricidad, siendo una fuente de energía exenta de emisiones contaminantes.

Pueden utilizar una gran cantidad de combustibles basados en el hidrógeno. En las aplicaciones de cogeneración, lo más frecuente es que la obtención de hidrógeno se produzca a partir de gas natural ("reformado").

Las pilas de combustible constituyen una fuente energética 100% sostenible, formando junto con la electricidad los dos vectores energéticos del futuro. Constituye pues una tecnología estratégica con un gran potencial de mercado para los próximos 20 años, para los que los análisis de mercado prevén un fuerte crecimiento.

#### **d. Motor Stirling**

Los motores Stirling son esencialmente motores de combustión externos, que requieren muy poco mantenimiento, y pueden funcionar con cualquier tipo de combustible.

Utilizan la tendencia de los gases de expandirse al calentarse, y comprimirse al enfriarse, forzando al gas contenido en un cilindro a ciclos sucesivos de enfriamiento y calentamiento, con el consiguiente movimiento mecánico del émbolo, que se aprovecha para generar electricidad a través de un generador. Se caracterizan por ser además muy silenciosos y con una fiabilidad muy elevada.

Alcanzan rendimientos combinados muy elevados (por encima del 80%) y permiten configurarse hasta potencias muy pequeñas por lo que se consideran muy adecuados para las aplicaciones de microgeneración domésticas.

Tecnología	Rto. eléctrico	Rto. térmico	Rto. total	Carga mínima	Tª Aprovechable (°C)	Ruido (dB)	Combustible
Turbinas de gas	15 - 35%	40 - 59%	60- 85%	75%	450 - 800	62 -75	Gas Natural
Motores alternativos de combustión interna	25 - 45%	40 -60%	70 - 85%	50%	300 -600	52 - 56	Gas, Diesel, Biocombustible
Motor Stirling	25 -50 %	40 -60%	70 - 90%	50%	300 - 600	56	Todos
Pila de combustible	35 - 55%	40 -60%	70 - 90%	sin límite	250 - 550	muy bajo	H2

Tabla 1. Resumen de tecnologías de microgeneración (Fuente EnergyLab)

#### 4. 2. 2. Aplicaciones

Todo edificio con demanda de energía térmica para climatización y agua caliente sanitaria continua es susceptible de instalar una instalación de microgeneración, resultando ser una propuesta atractiva para un amplio rango de sectores, en los que existe una gran presencia de pymes, aunque sin duda son los pequeños y medianos usuarios del sector servicios, los que tienen mayor potencial de aplicación de estas tecnologías.

- ✓ **Casas rurales y viviendas remotas:** Instalaciones remotas sin acometida eléctrica o con problemas en la distribución debido a unas condiciones climáticas adversas, así como aquellas situadas en lugares de alta montaña con temperaturas bajas durante muchos meses.
- ✓ **Hoteles:** Presentan altas cargas térmicas durante todo el día, especialmente en los meses de invierno, y una demanda media de electricidad para los aparatos domésticos.
- ✓ **Balnearios y Spa's:** Necesitan grandes potencias térmicas para calentar el agua de piscinas y termas durante todo el año, sin descuidar la potencia eléctrica necesaria para el funcionamiento de los equipos de bombeo y tratamiento de agua.

- ✓ **Hospitales:** Presentan elevados consumos eléctricos debido a los equipos de diagnóstico y tratamiento, así como una alta demanda calorífica para calefacción y ACS durante todo el año.
- ✓ **Restaurantes:** Grandes consumos eléctricos en las cámaras frigoríficas durante todo el año, con lo que se asegura una demanda mayor que la mínima.
- ✓ **Viviendas:** Aquellas que deseen aumentar la eficiencia de suministro energético.
- ✓ **Granjas, invernaderos, etc.:** Emplazamientos alejados de núcleos rurales o urbanos que no presenten instalación eléctrica para satisfacer su consumo y dependan de equipos aislados de la red.

Por el contrario, la microgeneración se desaconseja en instalaciones que:

- ✓ Aunque consumen electricidad no requieren consumos térmicos.
- ✓ Instalaciones con demandas térmicas a muy alta temperatura.
- ✓ Grandes consumidores de calor, es decir, aquellos cuya demanda de potencia térmica sea mucho mayor que la de potencia eléctrica.



*Figura 4.7. Ejemplos de microgeneración en España. Casa rural Masia Ferrer (Segorbe), C. Civico Rondilla (Valladolid), MCC en viviendas en Colmenar Viejo (Madrid)*

Los criterios de viabilidad para una instalación de microgeneración son los siguientes:

- ✓ **Horas de funcionamiento:** Parámetro clave de estos sistemas, ya que la elevada eficiencia de estos equipos permite producir la misma energía a menor coste. Es necesario garantizar un elevado número de horas de trabajo al año para lograr periodos cortos de amortización.
- ✓ **Demanda eléctrica:** Para instalaciones de baja potencia no se plantea la posibilidad de vender los excedentes de energía eléctrica a la red (no resulta rentable), quedando el autoconsumo de la energía eléctrica generada como la opción más rentable en este caso.
- ✓ **Demanda térmica:** Es recomendable que la instalación demande una cantidad de energía térmica que permita al sistema estar en funcionamiento un elevado número de horas al año.

#### 4. 2. 3. Caso de estudio en terciario

A continuación se exponen los resultados del análisis de viabilidad económica y técnica para la instalación de microgeneración en un Hotel de 3 estrellas con las siguientes características:

- ✓ **Ubicación:** Salamanca. Zona Climática D2.
- ✓ **Estado actual:** Caldera de gasóleo para calefacción y producción del porcentaje de ACS que no queda cubierto por paneles solares, combinada con paneles solares y enfriadora convencional para cubrir la demanda de refrigeración en verano.
- ✓ **Demanda térmica:**

	Potencia (kW)	Energía (kWh)
<b>Calefacción</b>	89,8	180631
<b>Refrigeración</b>	60,7	27279
<b>ACS</b>	41,3	90446

Tabla 2. Demandas de calefacción y climatización para el caso de estudio en zona climática D2.

- ✓ **Propuesta1:** Caldera de gas natural para calefacción combinada con un equipo de microgeneración para la producción de ACS y una enfriadora convencional para la refrigeración en verano.
- ✓ **Propuesta 2:** Microgeneración para la producción de calefacción y ACS combinada con enfriadora convencional para la producción de frío.

Tal y como se puede observar en la gráfica que se muestra a continuación, la microgeneración presenta periodos de retornos a corto y medio plazo en función de si simplemente se utiliza la microgeneración para ACS combinada con una caldera de gas natural, o se utiliza para calefacción y ACS combinada con una enfriadora convencional para la producción de frío a corto plazo.

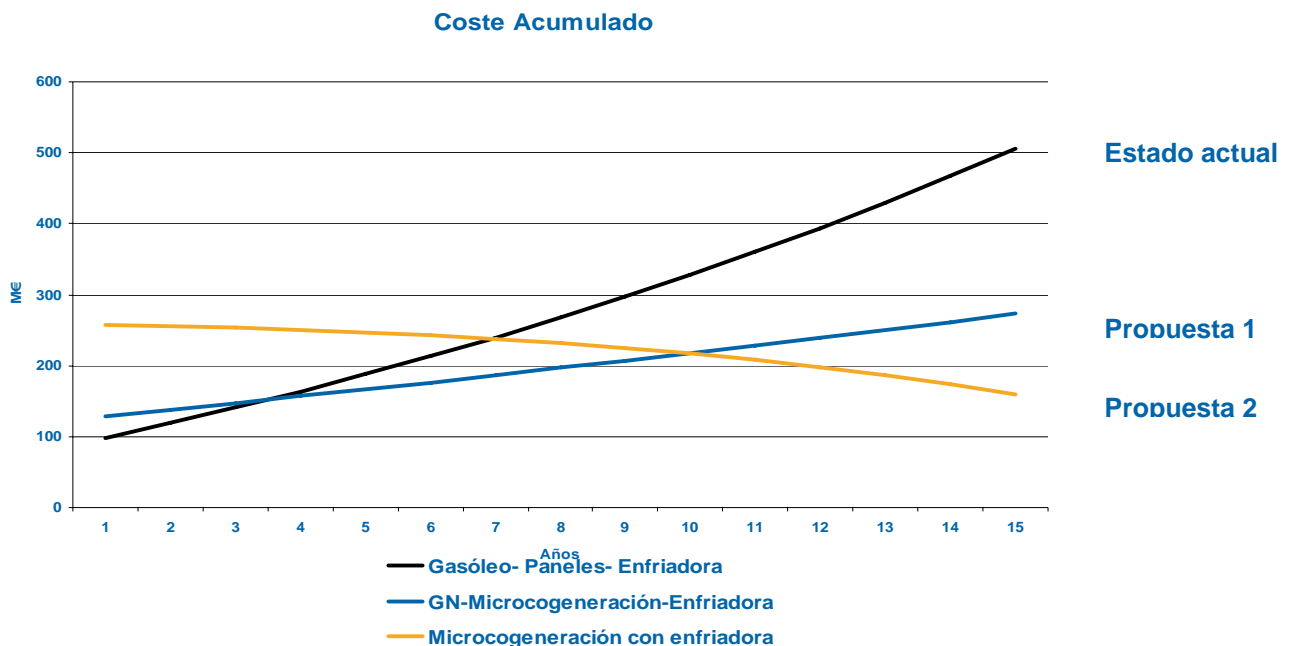


Figura 4.8. Estudio de viabilidad de una instalación de microgeneración en un hotel de 3 estrellas.



En cuanto a la microgeneración con enfriadora tanto para ACS como para calefacción, se puede observar como alcanza la rentabilidad a más largo plazo que cuando simplemente se utiliza para ACS lo cual se debe al mayor coste de inversión inicial en equipos de mayor potencia.

Obsérvese que en no se han considerado subvenciones que pueden llegar a significar un elevado porcentaje del total, reduciéndose consecuentemente los periodos de retorno de manera considerable.

### **4.3. Conclusiones**

La importante deslocalización de los puntos de producción respecto de los de consumo de energía en España conlleva la existencia de importantes redes de transporte y distribución con pérdidas energéticas, que pueden llegar hasta el 13% sólo para conexión en baja tensión. Esto ocasiona un notable impacto ambiental y tensiones sobre el sistema de transporte de electricidad.

La generación distribuida constituye una alternativa a los sistemas convencionales, que reduce la necesidad de inversión en nuevas infraestructuras de transporte y distribución con el consiguiente ahorro de energía primaria, mejora de la diversificación energética y reducción de emisiones de contaminantes a la atmósfera.

El desplazamiento del control de la red eléctrica desde el operador central hacia la propia red, bajo lo que se entiende como “redes inteligentes”, permitirá una mejor integración de los flujos entrantes y salientes en cada una de las sub-redes, acercando además, gracias a la generación distribuida, especialmente la basada en energías renovables y tecnologías de bajas emisiones, la generación a los puntos finales de consumo. Todo ello bajo el objetivo de lograr una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 40% antes del año 2050.

Dentro de las tecnologías de generación distribuida, la microgeneración representa una muy válida alternativa para aplicaciones de generación térmica y eléctrica en terciario y doméstico. Existe una gran variedad de equipos disponibles, desde los más convencionales como el motor de combustión alterna y la turbina de gas, muy utilizados en las grandes aplicaciones, hasta los equipos más novedosos, como la pila de combustible y el motor Stirling, estos últimos muy interesantes por las bajas emisiones de CO<sub>2</sub> y la alta fiabilidad, lo que los hace muy interesante para este tipo de aplicaciones.

Por último, es necesario recalcar la necesidad de la creación de un marco regulatorio específico y de políticas de retribución específicas, para este tipo de instalaciones, de tal manera que no constituya una barrera para su despliegue.

## **5. Aplicaciones y perspectivas de futuro de la cogeneración en las ciudades**

### **5.1. Resumen**

Los sistemas de cogeneración son la forma más eficiente de transformación de la energía. Existen múltiples aplicaciones de estos sistemas adecuadas para ahorrar energía primaria en las ciudades: proyectos de ahorro en hospitales, centros deportivos, oficinas, hoteles, residencial, etc. Se expondrán estas aplicaciones cuantificando sus ventajas.

### **5.2 Objetivos**

Identificar aplicaciones de cogeneración adecuadas para el máximo ahorro de energía primaria y emisiones en las ciudades.

### **5.3. Sector terciario**

#### **5.3.1. Contexto**

Uno de los retos energéticos que afrontamos en el siglo XXI es el abastecimiento energético de las ciudades de forma sostenible. Actualmente, la mitad de la población mundial se concentra en las urbes y está previsto esta proporción aumente hasta el 70% en 2050. El 75% de la energía y el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero se gastan y se emiten en las ciudades. El 40% de la energía en Europa se consume en los edificios. Son cifras que retratan la magnitud de este reto.

Tras la cumbre de Copenhague en diciembre de 2009 sin alcanzar un consenso global significativo y en plena crisis económica en el mundo occidental, las políticas de energía y clima van cada vez más ligadas. El factor económico vuelve a ser determinante en la priorización de las soluciones energéticas y la apuesta por la eficiencia energética es ahora más que nunca una prioridad.

En este contexto, es interesante conocer cómo los sistemas de cogeneración pueden contribuir de forma significativa a la sostenibilidad energética de los municipios en forma de ahorro de combustible y ahorro de emisiones. Existen multitud de aplicaciones. Desde los proyectos asociados a una red de distribución de frío y calor hasta pequeñas aplicaciones de potencias entre 1 y 50 kW eléctricos, pasando por soluciones de pequeña escala, algunas combinadas con otras soluciones renovables. Es un amplio abanico de posibilidades que debe considerarse de forma sistemática en competencia con otros proyectos de abastecimiento energético. Se trata de proyectos en edificios de oficinas, en centros de enseñanza, en hospitales, polideportivos, edificios comerciales, etcétera.

Europa, consciente de esta gran oportunidad de ahorro, ha impulsado la nueva Directiva de eficiencia en los edificios, que ha visto la luz a finales del pasado mes de junio. Mediante esta Directiva, la Unión Europea pretende impulsar acciones efectivas en el sector de los edificios que nos acerquen a los objetivos europeos en materia de energía (triple 20 en 2020). Lo más relevante es que se equipara la solución mediante cogeneración a otras soluciones renovables en cuanto a prioridad e importancia.

Lo más novedoso, aunque herencia del pasado, es el enfoque pragmático para la comparativa de soluciones energéticas; la Directiva lo aborda proponiendo un ejercicio de cálculo de la eficiencia energética y un **análisis del coste-beneficio**. Sin duda, esto amplía las opciones de la cogeneración como herramienta de ahorro y económicamente sostenible.

En España, hay unos 150 MW de pequeñas instalaciones de cogeneración en 200 plantas en el sector terciario. Estas plantas, de forma invisible, contribuyen de una forma significativa a la mayor eficiencia y economía del abastecimiento energético en las ciudades. **El potencial identificado por IDAE en el sector terciario es enorme, cercano a los 6500 MW.** Un amplio campo de actuación para las empresas de servicios energéticos y proveedores de maquinaria y servicios.

Desde hace ya años se han promovido proyectos de cogeneración y de trigeneración en el sector terciario español. Se trata de proyectos de índole muy diversa, desde la gran escala de los *district heating and cooling* (trigeneración a gran escala) hasta los más recientes de microcogeneración (potencias inferiores a 50 kW).

### **5.3.2. Proyecto FORUM 2004: Incineración de residuos y red urbana de calor y frío. Trigeneración de alta eficiencia.**

En el caso de proyectos de trigeneración de gran escala, en Barcelona hallamos un ejemplo con una mención de excelencia de la Agencia Internacional de la Energía. La planta de valorización energética de residuos sólido urbanos de Barcelona, TERSA, que trata 380 mil toneladas anuales, convierte el calor de incineración en vapor de alta presión que posteriormente se turbinan produciendo 23,7 MW de electricidad. Parte del vapor de baja presión se transfiere a la planta de DISTRICLIMA que distribuye calor y frío mediante una red urbana que cubre los barrios del entorno del Forum 2004 y de Poble Nou (distrito 22@). La red tiene ya contratados 38 MW de calor y 60 MW de frío entre sus clientes, la mayoría edificios de oficinas y hoteles. Se trata de un ejemplo de gran potencial emblemático por contribuir de forma significativa al autoabastecimiento energético de la ciudad, aumentando la garantía de suministro de la zona, ahorrando combustible y emisiones en términos globales.

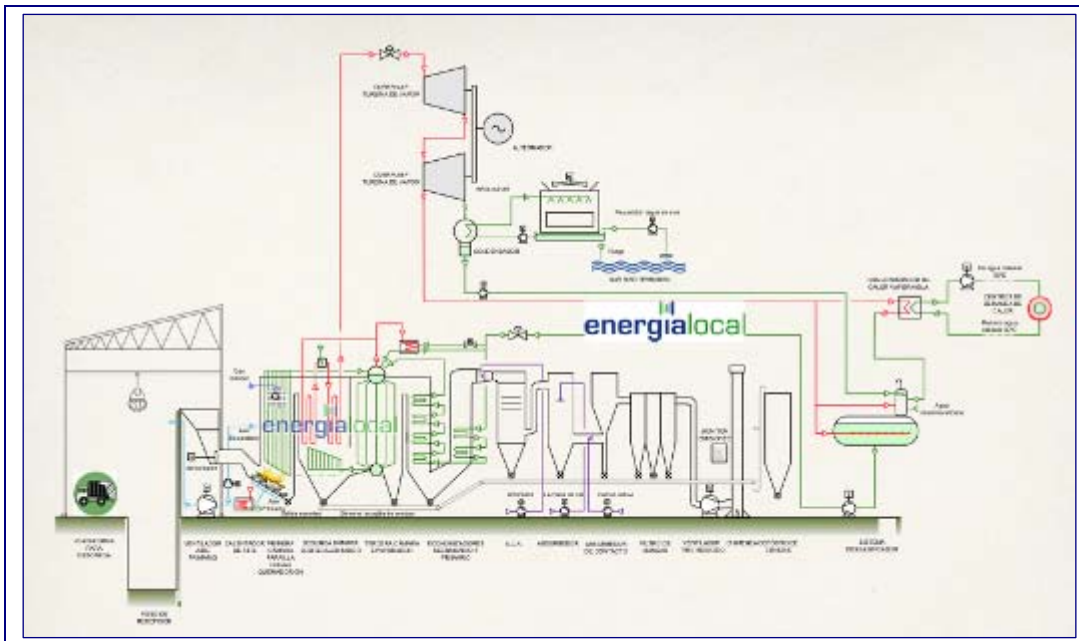


Figura 5.1. Esquema de planta de valorización de RSU asociada a una red de distrito de frío y calor.

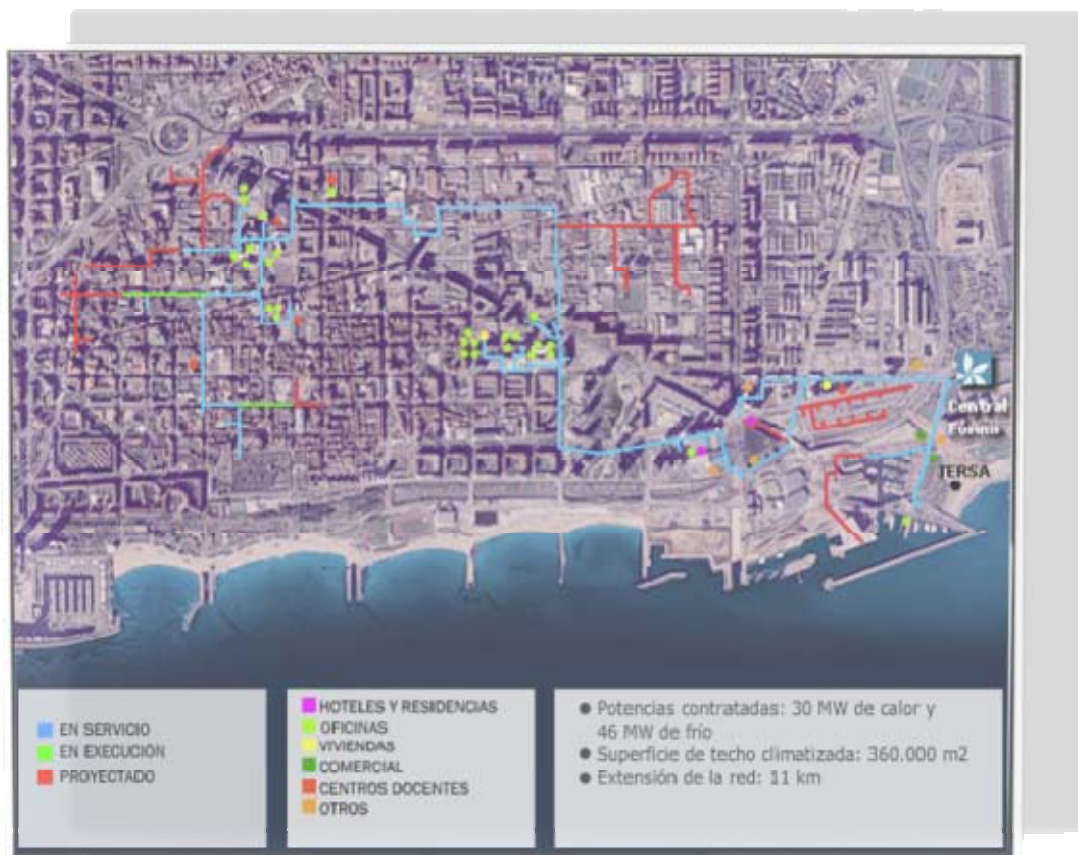


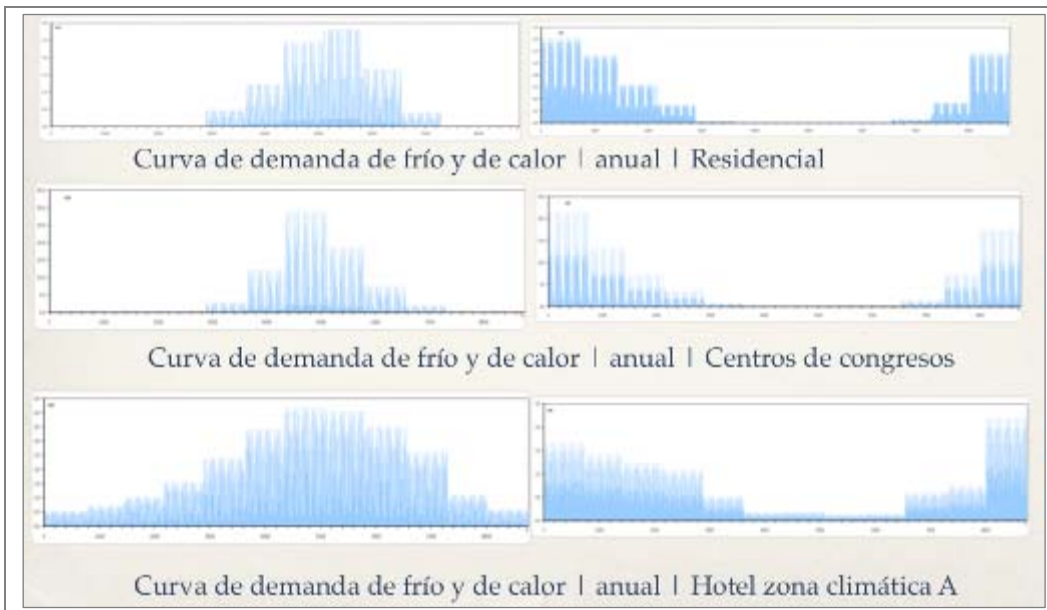
Figura 5.2. Red de climatización a partir de calor residual de incineradora en Barcelona

### 5.3.3. Proyectos de pequeña potencia (menos de 1 MW). Sector hospitalario, centro de enseñanza, oficinas, polideportivos y centros comerciales.

En otra escala de proyecto, la trigeneración y la cogeneración se adaptan a cubrir demandas en centros hospitalarios, centros de enseñanza, oficinas, polideportivos y centros comerciales.

Cabe destacar que el diseño de las instalaciones viene marcado de forma notable por la climatología de la zona, que marca los grados día de demanda de calefacción y refrigeración.

Esta demanda de calor y de frío conduce a soluciones que pueden incluir o no máquinas de absorción. En este sentido, hay que destacar que en la climatología del sur de Europa las soluciones con trigeneración suelen tener eficiencias más elevadas que las de simple cogeneración (sólo calor y no frío); sin embargo, en contrapartida la inversión es superior, pues el coste de la tecnología para producción de frío a partir de calor es relativamente elevado. Se trata pues de hallar un compromiso entre eficiencia y rentabilidad en cada uno de los casos estudiados.



*Figura 5.3. Ejemplo de curvas de demanda de calor y de frío en distintos tipos de centro. La climatología y el tamaño del centro determinan el diseño de plantas de trigeneración.*

Un proyecto emblemático dentro de esta categoría por lo novedoso de la tecnología es la pila de combustible de 200 kW que GAS NATURAL tiene en su sede central en la Barceloneta. Se trata de una trigeneración que provee al edificio de frío (140 kWf) y calor para climatización (134 kWt).

Otro proyecto emblemático es la planta de trigeneración en el complejo hospitalario del Vall d'Hebrón, con turbina de gas de 5 MW y una vasta red de distribución de calor y frío interna.

#### **5.3.4. Proyectos de microgeneración en el sector edificios.**

La microcogeneración es la escala que comprende potencias inferiores a 50 kW. Se trata de aplicaciones basadas sobre todo en turbinas de gas, motores alternativos o motores stirling.

Las aplicaciones donde encajan esta escala de proyectos son, por ejemplo, en hoteles de más de 100 habitaciones, o bien oficinas o complejos residenciales de varios miles de metros cuadrados a climatizar.

Un ejemplo de este tipo de instalaciones lo encontramos en el hotel Ayre Rosellón, donde existe una cogeneración con microturbina de gas de 30 kW para satisfacer la demanda de agua caliente.

#### **5.3.5. Barreras a superar**

A pesar del gran interés de los proyectos de cogeneración y trigeneración en el sector terciario, su desarrollo tiene que superar aún ciertas barreras. En el caso de proyectos de pequeña potencia, las tramitaciones son las mismas que para instalaciones de gran potencia, con la complejidad y dilatación en el tiempo que esto supone. Es necesario facilitar en especial el acceso a la red eléctrica de las plantas de menos de 1 MW, permitiendo además la conexión en baja tensión de forma automática en todos aquellos casos en que la potencia contratada anteriormente a la realización del proyecto sea superior a la potencia que se va a instalar. Asimismo es necesario facilitar suficientemente el acceso a la red de gas de alta presión, o bien a la tarifa equivalente a la conexión a presión superior a 4 bar.

Entendemos que el gran esfuerzo que significará superar todas estas barreras queda sobradamente justificado por las consabidas ventajas que aporta la generación distribuida en forma de cogeneración: aumento de la seguridad de suministro eléctrico, la disminución de la dependencia energética exterior y el aumento de la competitividad de nuestro país al disminuir el precio de suministro eléctrico.

#### **5.3.6. Conclusiones**

Las soluciones de cogeneración y trigeneración tienen un amplio recorrido en el sector terciario que puede impulsarse con medidas sencillas de implementar y sin coste alguno, como facilitar la interconexión a la red eléctrica.

La era de la eficiencia está cada día más en el presente y con una mayor prioridad. La próxima revisión de la Estrategia de Energía de la Unión Europea sin duda redundará en esta idea.

## **6. Implicaciones del nuevo modelo energético urbano en la red de transporte y distribución de energía eléctrica**

## **7. Redes de climatización de barrio (DH&C)**

El Objetivo de este capítulo no es el de describir en detalle el funcionamiento de las redes de climatización sino el de exponer los retos que supone para la administración local la implantación de una red de calor y frío así como la necesidad de compatibilizar estas grandes infraestructuras con la urbanización (nueva o ya desarrollada) de extensas áreas del municipio.

Se describen las singularidades de las dos redes que hoy se están desarrollando en la ciudad de Barcelona pero en cualquier caso, no se pretende ser exhaustivo en los detalles numéricos de los respectivos sistemas pues se entiende que las características técnicas de cada una de las redes merecería una extensa y detallada descripción que no es objeto de este Grupo de trabajo.

El presente documento se desarrolla según el siguiente esquema:

- Introducción. El mapa energético de Barcelona.  
En la que se exponen los datos energéticos de la ciudad de Barcelona (generación y demanda de energía).
- Las redes de calor y frío en Barcelona  
En la que se exponen los motivos de invertir en este tipo de sistemas y se repasa la evolución de éstos a lo largo de los últimos años. Se relacionan las barreras que se han ido superando y las ventajas que el sistema de climatización centralizado ha supuesto para los usuarios.
  - Districlima, SA  
Breve descripción de la primera red de calor y frío que se implantó en la ciudad. Motivación del proyecto y situación actual.
  - Ecoenergies, SA  
Exposición de la necesidad de implantar una nueva red de calor y frío en el sur de Barcelona: Motivación del proyecto, estado actual del Proyecto y proyección de futuro. Mejoras respecto al primer Proyecto implantado en Barcelona.
- El futuro de las redes de calor y frío en Barcelona  
Se ahonda en los objetivos futuros y las nuevas barreras que se presentan. Asimismo, se exponen las estrategias de desarrollo previstas para los próximos años y la necesidad de compatibilizar las redes de calor y frío con otros sistemas de climatización de alta eficiencia o con apoyo de energías renovables.

### **7.1. Introducción. El mapa energético de Barcelona.**

Uno de los fenómenos sociales que se está produciendo en cualquier parte del mundo es el gran y rápido crecimiento de las ciudades. Más del 50% de la población mundial vive en ciudades que superan los 50.000 habitantes. En concreto, en Europa el 80% de la población vive y trabaja en la ciudad. Este fenómeno demográfico presenta unas importantes consecuencias con respecto al tema energético. De hecho, a nivel mundial, el 75% de la energía se destina a mantener la organización de las ciudades.

Por otro lado, el modelo energético en el cual se fundamenta el funcionamiento de la gran mayoría de estas ciudades -especialmente las de los países desarrollados- se caracteriza por la utilización de formas de energía que derivan de los combustibles



fósiles y nucleares, y por un uso poco eficiente de los recursos. Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de que las ciudades se sientan corresponsables en el tema del cambio climático.

Considerando, pues la enorme influencia económica y socioambiental de estas grandes ciudades respecto al resto del mundo, es imprescindible hacer un replanteamiento hacia un modelo energético nuevo, basado en el ahorro y en la eficiencia energética, así como en el uso de los recursos renovables.

En el año 2008, Barcelona consumió del orden de 17.000GWh de energía (4.749 GWh el sector doméstico, 5.083GWh el sector servicios, 2.929GWh el sector industrial y 4.100GWh el sector transporte). De los 17.000GWh consumidos, un 44,5% fue en forma de electricidad, un 31,8% en forma de gas natural, un 15,4% en forma de gasoil y un 7,0% en forma de gasolina. El GLP (butano y propano) sólo representó el 1,4% del consumo total. En lo que se refiere a producción, en el año 2008, las centrales en régimen ordinario de Barcelona y alrededores, produjeron 4.907GWh eléctricos y las pequeñas centrales en régimen especial (cogeneraciones, RSU, biogás, minihidráulica y fotovoltaica) produjeron 336GWh eléctricos. La energía solar térmica aportó 52GWh.

Considerando la energía en origen, en el 2008, Barcelona consumió 30.909GWh de energía primaria, con una aportación -considerando el mix de generación eléctrica de Catalunya- del 45% de energía nuclear, del 36% de gas natural, del 12,4% de combustibles líquidos y del 3,2% de hidráulica y renovables.

Según el balance eléctrico anual de 2008, el 68% de la electricidad que consumió Barcelona, fue generada por las instalaciones de generación eléctrica ubicadas dentro mismo o en el entorno inmediato de la ciudad de Barcelona. Con la entrada en servicio de las nuevas centrales térmicas de ciclo combinado (Besòs-5 y la CTCC del Puerto de Barcelona) se cubrirá la totalidad de las necesidades de energía eléctrica de la ciudad.

En lo relativo a la evolución de las energías renovables en Barcelona, la energía solar térmica resultante de la aplicación de la Ordenanza solar, permitió disponer a fecha 2008, de 65.506m<sup>2</sup> de colectores solares para calentar agua (en el año 1999, sólo había 2.500m<sup>2</sup>). Adicionalmente, se contabilizaron 6.116kWp de potencia instalada en fotovoltaica (en 1999 había sólo 2,5kWp).

Aun considerando esta evolución positiva y que Barcelona llegará a autoproducir toda la energía eléctrica que demanda, cierto es que la posibilidad de implantar nuevas centrales es cada vez menor. Consciente de esta situación, el Ayuntamiento ha decidido potenciar el ahorro y la eficiencia energética así como el máximo aprovechamiento de las fuentes renovables (principalmente el sol, pero también la geotermia o la minieólica, etc.) para generar agua caliente y electricidad.

Por otro lado, en los últimos años, la ciudad de Barcelona ha adquirido un conjunto de compromisos internacionales y locales con la voluntad de trabajar para ir creando un nuevo modelo energético más sostenible. A nivel local, este compromiso de la ciudad para lograr un nuevo modelo energético basado sobre los principios del ahorro y en el uso eficiente de los recursos renovables, queda perfectamente reflejado en el espíritu de su Agenda 21 de Barcelona - Compromiso Ciudadano por la Sostenibilidad 2002-2012, y en el Plan de Energía, Cambio Climático y Calidad del aire 2020 (en fase de aprobación). Este nuevo Plan de Energía será más amplio que el anterior Plan de 2002 y abordará la actual coyuntura, no sólo en materia de energía, sino también en lo relativo a la protección climática y de contaminación del aire, con actuaciones más transversales y más ambiciosas que darán respuesta al compromiso que ha tomado Barcelona en el marco del Pacto de los Alcaldes: reducir sus emisiones de gases de

efecto invernadero en un 20% para el año 2020. Todo ello, en definitiva, para hacer de Barcelona, una ciudad plenamente sostenible.

## 7.2. Las redes de calor y frío en Barcelona

Las redes de calor y frío para climatización son sistemas centralizados de distribución de energía poco implantados en el sur de Europa pero muy difundidos en el centro y el norte de Europa dónde se aprovecha la oportunidad que ofrecen las centrales térmicas o sistemas de revalorización energética próximos o incluso dentro de la trama urbana, para, además de generar energía eléctrica, distribuir calor a los diferentes edificios consumidores de calor.

Esta tendencia ha cambiado sustancialmente estos últimos 10 años de modo que actualmente existen ya en funcionamiento, redes de distribución de calor y frío como por ejemplo: Districlima SA y Ecoenergias SA en Barcelona ciudad, Districlima Zaragoza SA, Molins Energia SA, Mataró Energia Sostenible SA, Centro Direccional de Cerdanyola del Vallès, entre muchas otras.

Este interés creciente en la implantación de redes en nuestro país se visualiza con la reciente constitución de la Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC)<sup>1</sup> que se fundó el pasado 18 de febrero de 2010.

La Climatización centralizada, también denominada climatización de barrio o de distrito, red de climatización de barrio, red de distribución de calor y frío o *District Heating and Cooling*, es un sistema de climatización centralizada que cubre las necesidades de climatización de un área determinada. Es pues un servicio para proveer edificios o centros de consumo de toda la energía térmica que requieren para ser climatizados, en forma de agua fría o caliente. La energía se genera en una instalación centralizada, denominada Central de producción o de energías, que permite una eficiencia energética mayor por el simple hecho que evita todas las ineficiencias propias de los sistemas individualizados. Son pues, sistemas con menos impactos medioambientales, con menos consumo de energía eléctrica y que dan la oportunidad de ofrecer nuevos servicios energéticos a los consumidores. Los edificios a los cuales se debe suministrar la energía se conectan con la Central a través de redes de distribución de calor y frío.

Éste y otros sistemas de alta eficiencia, como por ejemplo la cogeneración, son sistemas imprescindibles para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> sin sacrificar el confort. En este sentido, la implantación de redes de calor y frío toman fuerza ante los sistemas individuales puesto que incorporan mejoras con respecto a la eficiencia energética (pueden llegar a ser hasta un 30% más eficientes), impacto ambiental, ahorro de espacio y de gestión así como ahorros económicos. De todas formas, considerando la alta eficiencia de las calderas individuales que hoy se están instalando gracias a las exigencias del CTE y las Directivas europeas, es probable que la eficiencia de la calefacción de distrito (se considera que el rendimiento de la red de distribución del calor es del 90%) no sea muy superior. Sin embargo, en nuestras latitudes, donde el consumo de frío para climatización es importante, las eficiencias del sistema centralizado respecto al sistema individual son claras.

Los elementos que constituyen una red de climatización de barrio son:

- Central de generación: Sistema principal de generación de energía para la climatización. En el caso de Barcelona son la Central Fòrum (caso Districlima)

<sup>1</sup>

Ver: <http://www.adhac.es>

o la Central Zona Franca (caso Ecoenergies). A ellas llega la fuente de energía proveniente de la recuperación de una energía residual. Como se verá más adelante: en el caso de Districlima, llega el vapor procedente de la valorización de RSU, en TERSA, y en el caso de Ecoenergies, llega el agua glicolada procedente del proceso de regasificación del GNL, en ENAGAS.

- Central de apoyo o puntas: pequeñas centrales de apoyo construidas para cubrir las puntas de demanda. Generalmente ubicadas a cierta distancia de la Central de generación para poder expandir la red desde el otro extremo del ámbito territorial de desarrollo de la concesión. En el caso de Districlima es la Central Tanger (ubicada en el corazón del 22@) y en el caso de Econergies, es la Central Marina (ubicada entre los Pavellones de Fira Gran Via).
- Red de distribución de calor y frío: Los edificios a suministrar se conectan con las Centrales mediante la red de distribución de calor y frío: un seguido de tuberías que reparten los fluidos térmicos siendo controladas y reguladas desde la Central. Cabe diferenciar la red troncal, de mayor diámetro, de la red de ramales que vehicula el fluido térmico de la red trocal al edificio consumidor.
- Subestación del usuario/cliente/consumidor: Equipos intercambiadores y de soporte instalados dentro de la propiedad del usuario, con el fin de recepcionar la energía suministrada a través de la Red de distribución de calor y frío.

Son varias las consideraciones a tener en cuenta y las barreras a superar para la implantación de sistemas centralizados de climatización. Se describen:

1. Limitaciones urbanísticas
  2. Barreras económicas
  3. Riesgo del promotor del edificio consumidor
  4. Aspectos legales a determinar
  5. Requerimientos técnicos y ambientales
  6. Limitaciones en la expansión, derivadas de la competencia de otras tecnologías
- Limitaciones urbanísticas:

En una ciudad tan densa y con pocas zonas por urbanizar como Barcelona, los proyectos de eficiencia energética son tan o más importantes que los de potenciación de las energías renovables, que presentan una limitación de espacio para poderse desarrollar. El reto es incorporar los servicios energéticos en el planeamiento de las nuevas transformaciones urbanas puesto que es muy difícil incorporar las redes de climatización en estructuras urbanas consolidadas. No se trata únicamente de una nueva instalación o infraestructura urbana. La incorporación de estos sistemas en la planificación urbanística implica un cambio sustancial en el modelo de ciudad, una transformación radical en el modelo energético y de ciudad.

Barcelona ha conseguido que todas las grandes transformaciones urbanísticas iniciadas en los últimos años (Fòrum2004, 22@, La Marina-Zona Franca, Sagrera) incorporen en su planeamiento la manera más eficiente y menos contaminante de atender las nuevas necesidades energéticas mediante la creación de sistemas de climatización de distrito.

Hay tres factores clave para la implantación de una red de climatización de distrito:

- Una profunda transformación urbanística: es el caso del Forum-22@ donde se ha implantado Districlima, y el caso del barrio de La Marina-Zona Franca, donde Econergies desarrollará su red.
- La necesaria proximidad entre las fuentes de generación de la climatización -generalmente en base a una fuente energética residual- y los centros consumidores. Esta proximidad geográfica es esencial para dar viabilidad a la planificación de redes de distribución de clima: En el caso de Districlima, la fuente energética residual aprovechada son los RSU que se valorizan en forma de vapor en las instalaciones de TERSA (ubicada cerca del Fòrum). En el caso de Econergies, la fuente residual es el frío procedente del proceso de regasificación del GNL que se lleva a cabo en la planta de ENAGAS (ubicada en el muelle de inflamables del Puerto de Barcelona).
- La necesidad de casar en el tiempo la demanda de clima con la oferta del servicio. La casuística difiere si se trata de un área concesional donde ya está operando un gestor de red (con lo que será responsabilidad de éste que coincida el fin de obra del edificio con el fin de obra de la infraestructura de red necesaria para servir el clima), respecto a una nueva zona donde se levanta un complejo de edificios, generalmente de diferentes promotores, que el Ayuntamiento desea climatizar de forma centralizada. En este segundo caso esta necesidad de casar a tiempo oferta y demanda, es especialmente relevante ya que coincidiendo temporalmente con el Proyecto edificatorio, se debe buscar un operador de red exclusivo para desarrollar el servicio para dicho conjunto de edificios y que deberá asegurar el suministro en el instante que el edificio empiece a demandar el clima. Será responsabilidad del gobierno local licitar rápidamente el Proyecto de red, para que el nuevo operador de red disponga de tiempo para construir Central, red y subestaciones.

Como se verá a continuación, las limitaciones urbanísticas que encuentran este tipo de Proyectos, están directamente ligadas con las barreras económicas ya que en el fondo no es más que un problema de predecir, con acierto, la evolución de la demanda y establecer una estrategia de crecimiento de la red de climatización, acorde con ésta.

- Barreras económicas:

La principal característica de este tipo de proyectos es que necesariamente hay que realizar gran parte de la inversión en los primeros años de la concesión. Es imprescindible implantar la Central de generación de energías y expandir las líneas troncales de la red de calor y frío con el objetivo de poder ofrecer el servicio de climatización a todos los usuarios desde el primer día que empiecen a demandar el clima. Adicionalmente, la Central de generación se diseñará para que sea escalable, pero en cualquier caso, de entrada, habrá que empezar con cierto sobredimensionamiento de los equipos. Peor aún es el dimensionamiento de la red troncal que, independientemente de si va enterrada o instalada en galerías subterráneas, de entrada deberá diseñarse para que tenga capacidad suficiente como para vehicular el fluido necesario para cubrir la totalidad de la demanda esperada.

Cuando la red se implanta en una zona ya urbanizada (como es parte de la zona donde se extiende la red de Districlima) la inversión en soterramiento de tubos es más elevada ya que debe deconstruirse y posteriormente reconstruirse la vía. La estrategia que toman los gestores de la redes que se desarrollan en estas áreas, es el de aprovechar todas las intervenciones que el Ayuntamiento realiza en las calles, para instalar sus ramales, con el fin de ahorrarse una parte importante de la inversión. Esta estrategia positiva a medio plazo, ya que la red se extiende por un territorio que a la larga acabará cubriendo, puede contradecirse respecto a la estrategia comercial de

desarrollo de la misma. En este sentido, a menudo la estrategia de desarrollo de la red, establecida en función del potencial de nuevos clientes, se ve continuamente interrumpida por el querer aprovechar la oportunidad de una remodelación de calle, aun no siendo ésta prioritaria. De hecho, lo que acaba sucediendo es que el gestor de la red invierte siguiendo su propia estrategia y aprovechando las remodelaciones de vías con lo que la inversión los primeros años, resulta generalmente, muy elevada.

Cuando se trata de una zona de nueva urbanización, antes de que se instalen los primeros clientes (siempre dentro del ámbito que ocupa la concesión) será necesario desarrollar gran parte de la red con el fin de poder abastecerles. Estos primeros edificios puede ser que se levanten cerca de la Central, con lo que, por suerte, no será necesario invertir en una gran longitud de red troncal, pero también puede ocurrir que se levanten al otro extremo del ámbito territorial en cuyo caso la inversión para llegar a un sólo cliente será ruinosa. En este último caso, deberá ponderarse el hecho de perder un cliente frente a la necesidad de desembolsar una inversión que representará un lastre financiero. Para resolver estos casos, existen soluciones intermedias como instalar equipos provisionales de suministro de clima para estos clientes (siempre con la pertinente aprobación del Ayuntamiento que deberá autorizar la ubicación por un tiempo limitado de equipos que estarán ocupando suelo público) o hasta pensar en invertir en una pequeña central que cubra la zona más alejada del ámbito territorial y que a la larga acabará siendo una Central de apoyo (o de puntas) a la Central de Energías.

En todo caso, sea zona urbanizada o no, estos proyectos se caracterizan por la necesidad inevitable de realizar desde un principio, elevadas inversiones. Por el contrario, los clientes (industriales, sector terciario o residencial) se irán conectando poco a poco y abonarán un derecho de acometida que ayudará a recuperar la inversión en obra civil pero que no será suficiente para recuperar la elevada inversión inicial que deberá haber realizado la sociedad gestora de la red

Adicionalmente, los usuarios consumidores del clima abonarán una determinada cantidad en concepto de la energía que consuman pero este ingreso la sociedad gestora de la red la utilizará, en su mayor parte, para cubrir el gasto en energía primaria que deberá consumir para generar el frío y el calor que está distribuyendo y que no provengan de la fuente residual.

Queda claro pues que la inversión debe realizarse al inicio del Proyecto mientras que los ingresos se irán repartiendo a lo largo del periodo que dure la explotación (normalmente del orden de 30 años) lo que generalmente significa que estos Proyectos arrojan tasas de retorno del interés del orden relativamente bajas.

Un proyecto energético con estos periodos tan largos de explotación no es interesante para los inversores si no presenta una TIR superior al 11%. Se deduce pues que sin ayuda pública hay una muy elevada posibilidad que el concurso quede desierto y por lo tanto, no se llegue a materializar nunca el Proyecto.

Aquí es donde en primera instancia la administración local debe intervenir. De entrada, debe asumir el Proyecto como una necesidad y una oportunidad, sobre todo ambiental, pero también de desarrollo económico dentro de la ciudad. En cualquier caso, estos Proyectos no reportaran ingresos al Consistorio; más bien al contrario.

A la hora de establecer en qué medida puede ayudar el Ayuntamiento al desarrollo de la red, es necesario establecer niveles de intervención pública y analizar el Proyecto por partes con el fin de que la intervención pública se dirija en le sentido que más interese a la administración local:

El apoyo al Proyecto puede reducirse a un simple apoyo en los trámites administrativos, autorizaciones, permisos para instalar equipos provisionales de suministro envía pública o legislando exenciones a determinadas ordenanzas con el fin de favorecer la conexión de edificios a la red. Otro aspecto positivo sería el apoyo en la difusión de la tecnología entre los potenciales consumidores.

Un nivel mayor de apoyo sería la participación en forma de capital social del Ayuntamiento en la sociedad gestora de la red. Esta implicación da seguridad al Proyecto, ya que el ciudadano normalmente visualiza de forma positiva un servicio con determinada participación pública y tangencialmente, puede facilitar la obtención de financiación por parte de bancos y cajas.

Finalmente, se contempla la ayuda directa al Proyecto. En este caso, el Ayuntamiento deberá estudiar qué forma le conviene más: aportar al Proyecto una cantidad económica que puede ser a fondo perdido o en forma de préstamo a largo plazo con o sin interés, una alternativa es hacerse cargo de la inversión relativa a la red de distribución de frío y calor o, por el contrario, hacerse cargo de la Central de Energías, etc. Hay muchas y muy variadas formas de vehicular esta ayuda pública.

En definitiva, muy difícilmente, se implantará una red de distribución de calor y frío si no es por iniciativa directa o al menos, con el apoyo explícito y absoluto, de la administración local.

- Riesgo del promotor del edificio

Barcelona está impulsando la implantación de pequeñas redes que suministren energía a nuevos complejos edificatorios que generalmente ocupan una o dos manzanas.

En todas las nuevas redes de calor y frío destinadas a dar servicio a estos complejos edificatorios impulsados por diferentes promotores según sea su uso, conviene plantear para cada edificio, y siempre desde la fase de proyecto básico, el suministro de clima mediante una red de climatización. Son claras todas las ventajas que este tipo de suministro supone, tanto para el promotor como para el usuario del mismo, pero también es alto el riesgo que representa para el promotor planificar las instalaciones y distribución de equipos y sistemas de un edificio cuyo suministro de calor y frío depende exclusivamente de la red. En el momento que el edificio entre en servicio la administración local debe haber licitado el concurso para asegurar que un gestor de la red de clima esté en disposición de suministrar el clima y por lo tanto de haber construido, a tiempo, la correspondiente infraestructura de red y la Central de generación. De otro modo, el edificio no podrá ocuparse por falta de un servicio esencial como es la climatización.

En este punto es donde la administración local debe favorecer que las temporalidades de los proyectos sean coincidentes o en su defecto pensar y autorizar sistemas transitorios para que la red esté dando servicio aún cuando la central no esté completamente operativa o como mínimo asegurar que el edificio disponga de clima, ni que sea con equipos poco eficientes (como por ejemplo, instalando *chillers* eléctricos en la calle), que darán servicio hasta que el sistema centralizado esté operativo.

Esta situación tan ajustada en el tiempo, de compatibilizar promoción urbanística con adjudicación de gestor de red, no son habituales en las grandes concesiones, pues generalmente el operador ya está implantado antes que se urbanicen las parcelas.

- Aspectos legales a determinar

El suministro de calor y frío mediante una red de distribución se considera un Servicio de Interés General con todo lo que esta clasificación conlleva. En este sentido, el

Ayuntamiento que impulse una red de calor y frío deberá estar en disposición de arbitrar entre gestor de la red y consumidor, establecer y regular tarifas, y en el extremo, hasta de rescatar el servicio.

Esto supone un problema, sobre todo cuando se trata de municipios relativamente pequeños.

Otro aspecto que debe esclarecerse antes de iniciar el Proyecto es la definición del tipo de contrato que regirá la explotación de la red: ¿será una concesión?, ¿será un contrato de obra, suministro y servicio?, ¿cuántos años de contrato?, etc. Estos proyectos conllevan una importante carga jurídica que debe definirse desde el inicio del desarrollo del mismo.

- Requerimientos técnicos y ambientales

Un aspecto a destacar, y que en Barcelona toma mayor relieve, es el efecto que produce el hecho de centralizar el sistema de producción de energía ya que se producen mayores emisiones localizadas en un punto. De este modo, frecuentemente, se produce un riesgo de incumplir las ordenanzas de emisión, pero sobre todo, por superar niveles límite de inmisión. Barcelona, una ciudad con ciertos problemas con la contaminación local (NOx, PM10, etc.) ha obligado a los gestores de las redes a implantar sistemas que los mitiguen. Así pues, se observa que siendo en global un sistema más eficiente y por lo tanto que evita emisiones de CO<sub>2</sub>, que el conjunto de climatizaciones individuales, por contra, por el simple hecho de concentrar la producción, se corre el riesgo de superar los límites de inmisión de algunos contaminantes locales.

Otro parámetro ambiental a vigilar es el nivel de ruido de los equipos generadores.

En lo que refiere a los requerimientos técnicos, Barcelona impone la condición de que todos los gestores de red de climatización trabajen con los mismos rangos de temperatura, pensando que las redes del futuro, aún siendo gestionadas por distintos operadores, puedan llegar a interconectarse. De este modo, el agua caliente se impulsa a unos 90°C y retorna a unos 60°C y el agua fría se impulsa a una temperatura de unos 5°C y retorna a unos 14°C a la Central.

- Limitaciones en la expansión, derivadas de la competencia de otras tecnologías

Finalmente, una de las mayores barreras que se encuentra el gestor de la red es la competencia que le hace la red de distribución de gas natural. Considerando que las calderas de calefacción y ACS son cada día más eficientes y que prácticamente la totalidad de los edificios dispone de conexión de gas, el gestor de la red de clima deberá ofrecer precios competitivos para superar, no sólo la solución de climatización a partir de caldera de gas sino las reticencias de los usuarios a lo que aún es desconocido frente a una tecnología muy difundida desde hace muchos años.

Otra competencia que encuentra el gestor son los sistemas de generación de frío y de calor mediante tecnologías totalmente eléctricas que aún siendo de muy baja eficiencia energética, resultan muy cómodos para el usuario (especialmente en viviendas) y económicos para el promotor del edificio que puede ahorrarse acometidas de gas o de climatización.

### **7.2.1. Districlima, SA**

En el año 2001, Barcelona decidió apostar por implantar la primera red de calor y frío en el ámbito del Fòrum. Actualmente, la red se está ampliando con el fin de cubrir

parte de la demanda energética que se está desarrollando en el distrito 22@. Esta red aprovecha la energía residual de la planta situada en el Besòs de revalorización energética de los Residuos Sólidos Urbanos (gestionada por la empresa pública TERSA), aprovechando de esta forma un residuo que, bien gestionado, conlleva un importante ahorro de energía primaria.

Esta infraestructura ha sido reconocida como ejemplo de planificación urbana sostenible por lo que ha recibido el premio a buenas prácticas locales de la Red Española de Ciudades por el Clima y el premio de buenas prácticas de eficiencia energética del IDAE.

Todo empezó con la necesidad de proveer de climatización los nuevos edificios que se iban a construir con motivo del *Fòrum de les Cultures 2004*. El primer paso fue la modificación del Plan General Metropolitano para la renovación de las áreas industriales del Poblenou, Distrito de actividades 22@BCN, aprobado definitivamente el 27 de julio de 2000 (MPGM22@) y el Plan Especial de Infraestructuras del Poblenou, aprobado definitivamente el 27 de octubre de 2000 (PEI) los cuales prescriben el desarrollo de sistemas de climatización centralizada en el ámbito de la transformación urbanística. Así, el artículo 10 del anexo de la Normativa del PEI estableció que en el ámbito de dicho Plan se previó el despliegue de redes de climatización centralizada. El Plan estableció unos sectores mínimos, formados por determinadas agrupaciones de islas, que podían disponer de una central de climatización.

El Ayuntamiento de Barcelona adjudicó en forma de concesión a la empresa ELYO (ahora denominada COFELY GDF Suez) el servicio de climatización centralizada. La empresa debía: Redactar el proyecto constructivo, en plazo determinado, bajo la supervisión y aprobación definitiva del Consorci del Besòs, ejecutar las obras e instalaciones de primera implantación, financiar la totalidad de las obras a ejecutar y asumir el compromiso de formar parte de la empresa encargada de la correcta explotación del servicio y de las instalaciones de generación y distribución de calefacción, agua caliente sanitaria y refrigeración en el ámbito determinado, por un período de 25 años.

En el año 2005, se inició una segunda etapa, adjudicada a través de otro concurso a Districlima, en el que se autorizó la extensión de la red al barrio contiguo del 22@.

Los accionistas de Districlima son COFELY GDF Suez (58%), Aigües de Barcelona (19,2%), TERSA (20%), IDAE (5%) e ICAEN (5%).

De este modo, desde el año 2004, Districlima viene generando calor y frío, principalmente desde la Central Fòrum aunque dispone también de la Central de apoyo de Tánger, con el objetivo inicial de suministrar climatización a los edificios del *Fòrum de les Cultures 2004*.

La Central Forum ocupa una superficie de 1.956m<sup>2</sup> donde se ubican los equipos principales de generación de agua caliente y agua fría. Así, para generar agua caliente se dispone de 4 intercambiadores vapor (procedente de TERSA) - agua, de 5 MWh c/u y 1 caldera de gas de 20 MWt (que entra en servicio sólo cuando no hay disponibilidad de vapor). Para generar agua fría hay instalados 2 equipos de absorción Broad de 4,5 MWf c/u refrigerados indirectamente por agua de mar, 2 enfriadoras eléctricas McQuay de 4 MWf c/u refrigeradas indirectamente por agua de mar y 2 enfriadoras eléctricas Johnson Controls de 7 MWf c/u refrigeradas directamente por agua de mar. A destacar el dispositivo de almacenamiento de energía frigorífica: Districlima dispone de un depósito de unos 5.000m<sup>3</sup> (lo que representa una reserva de unos 10MWf de frío) con el objetivo de minimizar la potencia global de las máquinas frigoríficas. Considerando que la demanda de energía frigorífica va mayoritariamente destinada al



acondicionamiento de aire que acostumbra a ser relativamente baja por la noche, se optimiza el sistema disponiendo de las máquinas para acumular energía frigorífica durante la noche (por lo que se aprovechan precios bajos de la electricidad). De esta forma, la energía acumulada durante la noche se utiliza durante las horas del día cuando se producen las puntas de demanda, completando así, la producción de las máquinas.

En definitiva, Districlima lleva ya 9 años expandiendo la red de distribución de calor y frío. Ha invertido 47M€ y actualmente ya dispone de una red de más de 12km, suministra energía térmica a más de 50 edificios (lo que representa un total de 525.000m<sup>2</sup> de techo climatizado) que en total le han contratado 37,23MWt de calor y 57,58MWf de frío. La mayoría de consumidores son del sector terciario: 35 edificios de oficinas, 10 hoteles, 2 Centros comerciales, 6 Centros docentes, 3 edificios de viviendas, 1 edificios de varios usos. Cuando acabe este año 2010, se prevé que Districlima habrá evitado la emisión de 9.500 toneladas de CO<sub>2</sub>.<sup>2</sup>

### **7.2.2. Ecoenergías, SA**

La sociedad Ecoenergías Barcelona Sud, Zona Franca i Gran vía l'Hospitalet, S.A. nace de la necesidad de implantar una nueva red de calor y frío en el sur de Barcelona (barrio de *La Marina el Prat Vermell, Gran Vía L'Hospitalet de Llobregat* y Parque Logístico de la Zona Franca, lo que representa un territorio de 1.200.000 metros cuadrados).

El Proyecto denominado *Central de Generación de Energías Zona Franca – Gran Vía de l'Hospitalet* ha sido desarrollado por la Agència Local d'Energia de Barcelona. En fecha 26 de junio de 2009, se adjudicó el Proyecto a la empresa DALKIA, que a fecha de hoy ha constituido la sociedad Ecoenergías junto con el Ayuntamiento de Barcelona (con un 19,5% de participación) en base a un contrato de explotación a 30 años.

A diferencia del Proyecto ejecutado por Districlima, este Proyecto presenta la particularidad de desarrollarse por territorio de varios ámbitos municipales y diversas concesiones territoriales. Así, el Ayuntamiento de l'Hospitalet de Llobregat mostró desde el principio, su interés en que esta red también se desarrolle a través de su municipio por lo que el ámbito territorial del Proyecto incluye tanto zonas del municipio de Barcelona como zonas del municipio de l'Hospitalet de Llobregat. Así mismo, la red también discurrirá por territorio del Consorci de la Zona Franca así como territorio de la Autoritat Portuària de Barcelona. Todo ello ha requerido de todo un proceso jurídico-administrativo para ligar todas las voluntades y dar seguridad jurídica a Ecoenergías.

Por otro lado, también ha sido necesario ligar jurídicamente el compromiso de ENAGAS con el Proyecto ya que cede gratuitamente el frío procedente de la regasificación así como el compromiso del Departamento de Parcs i Jardins del Ayuntamiento de Barcelona que cede y transporta hasta la Central Zona Franca, toda la biomasa residual que se genere del proceso de poda en los parques y los jardines de la ciudad.

Así mismo, con la finalidad de ayudar al desarrollo del Proyecto se cuenta con el apoyo institucional y económico de la administración local, autonómica i central.

<sup>2</sup> Datos de enero de 2010. Fuente: Web de DISTRICLIMA, SA [www.redesurbanascaloryfrio.com](http://www.redesurbanascaloryfrio.com); [www.districticlimate.com](http://www.districticlimate.com)

Desde un principio, este Proyecto se ha enfocado como una red que principalmente suministre energía, no solo a grandes edificios del sector terciario o al sector industrial sino sobre todo, a viviendas. Esto representa un reto para Ecoenergías porque a la dificultad que representa facturar a muchos clientes con poco consumo, se añade el hecho que muchas de estas viviendas serán de protección oficial lo que representa mayor riesgo de impago.

Cuando todo el Proyecto esté en servicio (año 2015), se estima que se evitará emitir a la atmósfera 13.400 toneladas al año de CO<sub>2</sub>, lo que equivale a la cantidad anual que absorbería un bosque mediterráneo que cubriera un 15% del territorio que ocupa la ciudad de Barcelona. El ahorro energético anual que se logrará será de 67.000 MWh, el consumo equivalente de una ciudad de 60.000 habitantes.

El Proyecto está constituido por los siguientes sistemas:

- Central Zona Franca:
  - Edificio singular
  - Planta de generación de calor y frío (que incluye el depósito de aprovechamiento del frío residual)
  - Planta de biomasa de 1,99MWe [en funcionamiento en el año 2011]
- Central de Puntas Marina [en funcionamiento en el año 2011]
- Red de distribución de calor y frío:
  - Red Troncal
  - Red de ramales
- Sistema de recuperación de frío del proceso de Regasificación del GNL:
  - Evaporador [en funcionamiento en el año 2015]
  - Red de transporte de frío del evaporador a la Central Zona Franca

A continuación, se describen los sistemas más singulares (la Central Zona Franca y el Sistema de aprovechamiento del frío procedente del proceso de regasificación del GNL):

a) La Central Zona Franca:

La Central la compone el singular Edificio que contendrá los equipos, la Planta de biomasa y la Planta de generación de calor y frío.

El objetivo de la Planta de Biomasa es el aprovechamiento para producir electricidad o directamente agua para la red, del verde urbano procedente de la poda de los árboles, de los subproductos de jardinería y de las regeneraciones de árboles de los parques y jardines de la ciudad, lo que supone una producción del orden de unas 14.000 toneladas al año. Adicionalmente al aporte de biomasa por parte del Ayuntamiento de Barcelona, Ecoenergías ha ligado acuerdos con otros suministradores de biomasa de forma que se prevé que cada año se produzcan 16.000MWh de electricidad a partir de la valorización de un total de 28.600 toneladas de biomasa forestal. Este proceso significa no sólo un ahorro en el coste que comporta la eliminación de estos productos, sino también la obtención, a partir de recursos locales y renovables, de energía eléctrica, la cual se verterá a la red eléctrica con la correspondiente retribución primada. Alternativamente a la producción de electricidad que se realiza mediante el

turbinado del vapor producido en el horno de biomasa, el sistema permite inyectar el vapor al sistema de producción de agua caliente para la red de distribución.

La Planta de generación de calor y frío es una instalación de calderas y *Chillers* de alta eficiencia (con la posibilidad de evolucionar, si la demanda lo permite, en una trigeneración) que sirve para generar la energía térmica (agua fría y caliente) necesaria para proveer de clima a los edificios.

Así pues, la Central Zona Franca producirá 2,9 millones de MWh anuales de energía térmica (un 56% de los cuales a partir de energías renovables o recuperadas) y será una infraestructura pionera en eficiencia energética: incorporará la Planta de biomasa, la Planta de generación de calor y frío provista de equipos de alta eficiencia y que incluye el depósito de 11.000m<sup>3</sup> para el aprovechamiento del frío residual procedente del proceso de Regasificación del GNL y, en la cubierta, una instalación solar fotovoltaica de 35kWp.

Esta Central será, además, el testigo de un pasado industrial reciente, pues ubicada en la antigua Central térmica de la SEAT, no dejará de tener el mismo uso como central de producción de energía. Lo hará pero, incorporando los nuevos procesos de generación de energía más eficientes y, consecuentemente, más respetuosos con el medio ambiente.

Ecoenergies está construyendo para la Central Zona Franca un Edificio singular que no solamente será donde se valorizará la biomasa y el origen de la red de distribución de calor y frío que dará servicio a zonas residenciales del barrio de la Marina y las empresas del parque logístico de la Zona Franca, sino que sus fachadas cumplirán con la función didáctica de mostrar a los ciudadanos qué procesos se producen en el interior de la Central. En este sentido, el Edificio será, al mismo tiempo, centro productivo y centro educativo.

#### c) Sistema de aprovechamiento de frío del proceso de regasificación del GNL

El sistema está constituido por dos subsistemas: el Evaporador de GNL, diseñado específicamente para aprovechar el frío del GNL que se “transmite” al agua glicolada y por la Red de transporte de agua glicolada. La conducción conectará el Evaporador, sito dentro la parcela de ENAGAS, en el muelle de inflamables del puerto de Barcelona, con la Central Zona Franca, situada a unos 2.000m de distancia.

Antes de describir los sistemas que instalará Ecoenergies, conviene conocer, aún siendo de forma muy superficial, el proceso de regasificación que desarrolla ENAGAS en el Puerto de Barcelona: La planta Regasificadora que ENAGAS tiene instalada en el muelle de inflamables, es la encargada de recibir el gas natural licuado (GNL) que transportan los barcos metaneros, almacenarlo todavía en estado líquido y, tras el proceso de regasificación, distribuirlo a la red de gas natural, ya en estado gaseoso (a unos 15°C). A los barcos y a los tanques, el gas licuado es almacenado a -161° C y a 1 atmósfera de presión. El motivo de licuar el gas natural para su transporte es que a -161°C se reduce 600 veces su volumen. Para llevar el gas a las condiciones de distribución a alta presión y a temperatura ambiente, se utiliza un proceso de vaporización que requiere de una aportación de calor al gas licuado, o dicho de otra manera, es necesario extraerle el frío. El método utilizado para vaporizar o regasificar el gas licuado es el intercambio térmico con bombeo de agua de mar, que, una vez devuelta, enfría unos cuantos grados el entorno del Puerto.

Con este Proyecto se instalará un evaporador especialmente diseñado en paralelo al sistema convencional que gasificará el gas, en vez de con agua de mar, mediante agua glicolada a +10°C que será devuelta a la Central Zona Franca, a -10°C para dar servicio a la red de distribución de frío que cubrirá los barrios. En definitiva, el objetivo

de este proceso se fundamenta en un sistema de refrigeración que se basa en la recuperación de un frío residual proveniente del GNL, que de otra forma se derrocha.

La utilización de este frío residual para la climatización de zonas urbanas en lugar de los equipos convencionales para producir frío (bombas de calor, climatizadores, *Chillers*, etc.) comporta un ahorro de consumo de la electricidad empleada en la refrigeración de viviendas y edificios de servicios, aprovechando una fuente energética residual, limpia, barata y segura, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y descongestionar la red de distribución eléctrica de la ciudad. Con este proyecto se aprovecharan hasta 30MW de frío que ahora se desperdician.

A día de hoy, Ecoenergies está en proceso de construcción de la Central Zona Franca, de la Central Marina y de la red de distribución de calor y frío.

### **7.3. El futuro de las redes de calor y frío en Barcelona**

Actualmente Barcelona está trabajando en el desarrollo de nuevas redes de distribución de calor y frío. Aun es considerablemente amplio el territorio que cae fuera de los ámbitos de actuación de los dos grandes operadores de redes de calor y frío que hoy están expandiendo sus redes en la ciudad, por lo que extenso es el territorio en el que el gobierno local debe trabajar las nuevas promociones urbanísticas bajo parámetros sostenibilistas.

Barcelona es una ciudad compacta con poco territorio no urbanizado por lo que no se esperan nuevos proyectos de vasto desarrollo urbanístico y en consecuencia, no se esperan grandes concursos en los que se concesione la expansión de nuevas redes.

De todas formas, Barcelona no renuncia a potenciar la generación centralizada de clima y en este sentido el Plan de Energía, Cambio Climático y Calidad del aire 2020, contempla distintos proyectos de sistemas centralizados de generación de frío y calor a desarrollar en los próximos 10 años.

Como se ha indicado, Barcelona no prevé el desarrollo urbanístico de nuevos barrios pero sí la implantación de complejos edificatorios, especialmente destinados a servicios que desde el principio se están planeando bajo el prisma de la generación centralizada. Entendido este sistema como uno de los más eficientes hoy existentes en el mercado, los próximos desarrollos urbanísticos comportaran pues, la implantación de pequeñas redes de calor y frío que darán servicio a varios edificios.

Estas redes que se están proyectando tienen dos orígenes: bien parten de redes existentes, es decir, se establecen ramales de considerable diámetro que partirán de la red de Districlima o de Ecoenergies que, sobresaliendo del ámbito de actuación que establecen las respectivas concesiones, se pretende que suministren a nuevos complejos de edificios, bien parten de nuevas centrales de generación de energía que, en base a gas natural y a electricidad generan clima de forma eficiente (mediante trigeneración o con sistemas de apoyo como la geotérmica, la solar de alta concentración, etc.).

En este ámbito a Barcelona se le plantea un reto que deberá superar en un futuro no lejano: ¿Cómo Barcelona, una ciudad pionera en la implantación de sistemas solares térmicos -hace ya 10 años de la ordenanza solar térmica, la primera del estado- podrá compatibilizar la tecnología solar con los sistemas de clima centralizado?

Desde la Agencia de Energía de Barcelona y el Área de Medio Ambiente junto con el ente Barcelona22@ y el Sector de Urbanismo, se está trabajando en como compatibilizar los dos sistemas de generación de calor con el fin de que por el hecho de conectarse a la red de calor y frío deje de aprovecharse al máximo la superficie de

tejado de nueva construcción. Aún estando en fase de análisis, parece entreverse que la solución técnica para compatibilizar los dos sistemas, pasa por diseñar instalaciones solares térmicas de alta concentración (generación de agua a 90°C) de tipo centralizado y que el fluido térmico se inyecte al retorno de la red de calor, una vez el circuito sale del edificio después de haber cedido calor a los consumidores. Por otro lado, parece la opción más positiva, el que el edificio contrate la gestión y mantenimiento de la instalación solar a la empresa gestora de la red de clima. De esta forma, se asegura el óptimo funcionamiento de todos los sistemas. El gestor de la red, descontará de la factura del usuario-cliente la energía obtenida a partir del sistema solar propio del edificio.

Otro aspecto que, de forma urgente, debe abordarse es el establecimiento de unas tarifas por el calor y el frío suministrado desde la red y que la ciudad se ha propuesto que sea igual precio para todos los ciudadanos independientemente de si el suministro proviene de uno u otro operador. Es un riesgo para el futuro desarrollo de nuevas redes que los precios difieran dependiendo cual sea el operador, aún siendo distinta la tecnología o la fuente energética de la que se sirva el sistema para generar el calor y el frío (por ejemplo: RSU, en el caso de Districlima o Frío del proceso de regasificación, en el caso de Ecoenergías). Sería difícil que un ciudadano entendiera que le toca pagar más que un ciudadano de otro distrito por recibir el mismo servicio aún siendo éste sistema más económico que el sistema convencional de generación de calor o de frío que típicamente se instalaría en una vivienda.

Ligado a este aspecto, se deriva una nueva problemática de carácter jurídico-administrativo: ¿Qué órgano tiene competencias para establecer tarifas que sean de aplicación en más de un municipio? El problema se presenta cuando una red se desarrolla en más de un municipio como es el caso de la red de Ecoenergías.

Y aún, otra de carácter técnico-económico: ¿Con que criterios se establecen las tarifas de forma que se cumplan las condiciones que han de regir todo desarrollo de estos proyectos: precios para el consumidor por debajo de la tecnología convencional y una retribución suficiente para el gestor de la red?

Queda trabajo por hacer en definir cómo desarrollar redes de distribución de calor y frío en el que pequeños productores de agua caliente o fría (mediante sistemas solares instalados en los tejados de los edificios) puedan verter su producción al sistema de distribución centralizado, ¿Qué tarifas se aplican? Legalmente, ¿Cómo se regula esta aportación al sistema? Técnicamente ¿Qué requerimientos se establecen para autorizar el vertido de energía térmica a la red de distribución de clima?

Gracias a las redes de climatización centralizada que ya dispone Barcelona y por lo tanto, una vez superado el paso que representa desarrollar estos Proyectos, se está ya en disposición de empezar a abordar aspectos como el de interconectar diversos sistemas de generación y de consumo térmico como si, salvando las diferencias, del sistema eléctrico se tratase, con el fin último de aprovechar todas las fuentes de energía posibles para hacer de Barcelona, modelo de ciudad compacta y mediterránea, un lugar que sea energéticamente autosuficiente i ambientalmente sostenible.

## **8. Cogeneración con pilas de combustible y recogida neumática de residuos urbanos en las Colonias Municipales de San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles de Puente de Vallecas de Madrid**



*Figura 8.1. Vista de las Colonias – Octubre 2010*

### **8.1. Primer proyecto de Ecobarrio**

El primer proyecto de Ecobarrio, se inicia con la demolición para su sustitución de los edificios de vivienda de las antiguas colonias Municipales denominadas “San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles”, construidas a finales de la década de los 60, en el distrito Municipal de Puente de Vallecas de Madrid, debido a su pésimo estado de conservación.

Las colonias municipales surgen como consecuencia de los grandes movimientos migratorios de los años 50 y 60 a las ciudades desde el medio rural y es desde el Patronato de Casas Baratas donde se decide la construcción de las Colonias Municipales.

La edificación de estas viviendas se desarrolla de un modo planificado, constituyendo pequeños ensanches de edificación abierta en claro contraste con las construcciones del casco histórico.

Las colonias suponen un buen ejemplo de arquitectura de corte social caracterizado por la aplicación de unos estándares de superficie media de la vivienda de 40m<sup>2</sup>. La traza urbana se basa en amplios espacios y la tipología constructiva es en bloques lineales.

**8.1.1 La Colonia de Nuestra Señora de los Ángeles** contó en su origen con 31 bloques que contenían 482 viviendas completándose con 163 viviendas unifamiliares.

**8.1.2 La Colonia de San Francisco Javier** contenía por su parte 29 bloques que incluían 444 viviendas, no construyéndose en esta Colonia ninguna vivienda unifamiliar.

- Estas antiguas colonias, alojaban a mil familias, en su mayoría pensionistas. La mayor parte de los edificios demolidos suponen que hayan sido realojadas sus familias por la EMVS, habiendo sido otras indemnizadas para hacer posible la demolición de los edificios que habitaban no procediéndose por tanto a su realojo.
- Para la remodelación de las Colonias y una vez aprobado el correspondiente Plan Parcial, fue redactado el Proyecto de Urbanización que fue aprobado en junio de 2007 por el Pleno Municipal.
- En abril de 2009 se inició **la urbanización y la construcción de los edificios de las Centrales** que alojarán las instalaciones de Recogida Neumática de Residuos y la Central de producción de calor en “cogeneración a pequeña escala” con pilas de combustible.

Los proyectos técnicos y de urbanización fueron redactados por los ingenieros Antonio García González y José Ignacio García Vielsa contando con la empresa Asocivil bajo la supervisión de la Subdirección General de Gestión de Vivienda del Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda (AGUV).

La actuación comenzó con bastante anterioridad al año 2006 con la demolición del primer edificio de viviendas, que como el resto de los de las Colonias estaba en pésimo estado de conservación.

En el mes de noviembre de este año 2010 quedaban en las dos Colonias sin demoler 4 edificios y 5 viviendas unifamiliares. Es de destacar el enorme esfuerzo de los equipos integrados por los Servicios Sociales de la EMVS, Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda (AGUV), dirigidos por Marisa de Frutos llevaron el peso de los realojos y demás actuaciones para demoler las viviendas y por el ingeniero Martín Martínez Calvo de la Dirección General de Infraestructuras del Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos (AGOEP) del Ayuntamiento de Madrid encargado de las obras de urbanización y del derribo de los edificios.

Estos datos nos dan idea de lo laborioso que resultan las operaciones de remodelación de Colonias y como consecuencia de estas dificultades, los esfuerzos que realizados para llevar a cabo las obras de urbanización y las de construcción de las centrales, que tuvieron que ser modificadas de su emplazamiento previsto en el proyecto original, cambiando en el trazado del viario, carril bici, zonas verdes para adaptarse a la marcha de los derribos.

- Las obras se financian por los Fondos Estatales de Inversión Local (FEIL) de 2009 y los Fondos Estatales para el Empleo y la Sostenibilidad Local (FEESL) de 2010. A ello hay que añadir la inversión efectuada en demoliciones, realojos e indemnizaciones con cargo a las Áreas municipales.

## 8.2. Nueva ordenación urbana

La nueva ordenación urbana afecta a los 16 edificios que se construirán en las Colonias y que albergarán unas 1.700 viviendas, todas ellas de protección oficial, de las que entre el 30% y 40% serán en régimen de arrendamiento para jóvenes. (Fig.8.2)



*Figura 8.2. Plano general de Ordenación*

### 8.2.1. Incorporación de criterios de sostenibilidad en el planeamiento de nuevos barrios y en la reestructuración y rehabilitación de los existentes.

Para el diseño y posterior urbanización de un Ecobarrio, han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones básicas.

- Optimización de la orientación y soleamiento de cada uno de los bloques que componen el Ecobarrio, prestando especial atención a las directrices bioclimáticas que rigen las actuales actuaciones.
- Creación de espacios “verdes” entre los edificios de viviendas, que serán espacios libres en los que se evitará la plantación que necesite agua en exceso.
- Potenciación de la plantación de arbustos y arbolado autóctono, que con el viento dominante y un sistema de riego apropiado, permitirá la creación de microclimas.
- Limitación de entrada y templado del tráfico rodado, fomentando las calles peatonales y el carril bici.
- Ventilación e iluminación natural del interior de las viviendas.
- Especial atención a las inercias térmicas de los edificios.
- Distinto diseño de las fachadas en su distribución y proporción “hueco macizo” en función de las orientaciones.

### 8.2.2. Inversión Ayuntamiento de Madrid.



- **Demoliciones - Dirección Gral. Infraestructuras, AGOEP** 1.161.096,00 €
- **Realojos e Indemnizaciones – EMVS, AGUV** 17.500.000,00 €
- Total:** ..... **18.661.096,00 €**

**FONDOS FEIL 2009:**

- Edificios de las Centrales DH y RNRU y 3 chimeneas..... 2.676.687,00 €
- Urbanización, Colonia Municipal de San Francisco Javier ..... 5.204.255,32 €
- Urbanización, Colonia Municipal de Ntra. Sra. de los Ángeles ..... 5.146.736,00 €
- Total:** ..... **13.027.678,32 €**

**FONDOS FEESL 2010:**

- Instalación de 2 calderas, 2 pilas de combustible y 2 chimeneas ..... 2.996.000,00 €
- Instalación de la Central de RNRU y finalización de la urbanización ... 3.667.600,00 €
- Total:** ..... **6.663.600,00 €**

**IMPORTE TOTAL ACTUACIÓN** **38.352.374,32 €**

**8.3. Las Colonias Municipales contarán con dos instalaciones pioneras en Madrid**

La central de barrio de producción de calor **District Heating** en cogeneración a pequeña escala (inferior a 1MW) con pilas de combustible y la **Central de recogida neumática de residuos**, son instalaciones pioneras en la ciudad de Madrid. Ambas Centrales se alojarán en edificios colindantes de dos alturas y subterráneos (Fig.2). La evacuación de gases se hará a través de las potentes chimeneas construidas sobre las centrales.



*Figura 8.3. Sección de los edificios de las centrales, -4m sala de calderas -7m sala de pilas de combustible*

**8.3.1 Espacio de reunión y lúdico bajo las chimeneas**

Las dos centrales cuentan con cinco chimeneas de unos 40m de altura para superar la de los edificios de viviendas al menos en dos metros, una de ellas para la salida de aire caliente de la central de residuos y las otras cuatro para la expulsión de gases producidos en la central de calor.

Bajo las chimeneas se creará una zona estancial para reunión vecinal con juegos de niños y espacios para los mayores (Fig.8.4).



*Figura 8.4. Espacio de reunión vecinal bajo las chimeneas y sobre las centrales*

Las chimeneas diseñadas por el arquitecto Federico Soriano, ganador del Concurso convocado por la EMVS, por su forma y diseño, contribuirán a la mejora ambiental de la zona estancial iluminándola con leds tejidos en sus envolventes textiles (Figs. 4 y 5).



*Figuras 8.5 y 8.6. Las chimeneas de día y de noche*

#### **8.4. Centrales**

En la planta -4 mts. de la Central del DistrictHeating se instalarán conectados en paralelo seis calderas de condensación a gas, con una potencia útil total de 9.600 KW(8,2 millones de kcal.).

En la planta -7 mts. Se instalarán seis pilas de combustible para generación de energía eléctrica en cogeneración con la instalación de calor. La potencia será de 180 Kw eléctricos.

La central de Recogida Neumática de Residuos Urbanos también aloja en sus dos plantas subterráneas, la maquinaria y el sistema de control.

Aunque en un futuro se instalarán cuatro pilas de combustible y cuatro calderas más, por lo que en total se instalarán seis pilas y seis calderas para servir las 1.700 viviendas, en la primera y segunda fases sólo se instalarán dos de cada uno de los elementos citados que atenderán las primeras 500 viviendas que se construirán próximamente. Las obras de 105 viviendas han sido iniciadas con fecha 30 de septiembre de 2010.

#### **8.5. Calefacción de distrito - District Heating**

La Calefacción de Distrito – DistrictHeating que se instala para la producción de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en cogeneración a pequeña escala por pilas de combustible, está integrada: por la **Sala de calderas** situada en la cota -4 y la **Sala de pilas de combustible** situada en la cota -7, ambas albergadas en el Edificio de la Central como hemos dicho de dos plantas y subterráneo, la **Red de Distribución de calor** enterrada en la urbanización que desde las calderas llegará a las **Subcentrales de los edificios de viviendas** alimentados por ellas y que también forman parte del DistrictHeating.

En la sala de pilas se instalará el Autómata para el control, con los elementos necesarios y para la **monitorización** de cada uno de los subsistemas, así como para la regulación de bombas, válvulas motorizadas, válvulas de tres vías, etc., que se realizará mediante este autómata programable y telegestionada, dotada de tarjeta de comunicaciones y conexión (módem y línea de teléfono analógica o adsl).

Con el DistrictHeating se consigue un 23% más de Eficiencia Energética en la producción de calor y ACS debido al factor de centralización/simultaneidad comparado con sistemas de instalaciones centralizadas en cada edificio y unas emisiones de CO<sub>2</sub> inferiores en un 25%.

##### **8.5.1 Sala de Calderas**

En este sistema de calefacción urbana centralizado, las seis calderas alimentadas por gas (fig.8.7) producirán el calor para la calefacción y el ACS de las viviendas. La potencia de cada una de las calderas será de 1.451 Kw nominales y 1.600 kW útiles

con lo que se producirán 9.600.kW con un consumo punta de 8.706 Kw, que serán suficientes para la producción de la totalidad del calor requerido por las viviendas para la climatización y el ACS.

La instalación (fig.8.8) se completa con los acumuladores, sistema de bombeo, intercambiadores de placas y una caldera de inquemados para aprovechar los restos de gas producidos en los transitorios de arranques de las pilas aumentando así el rendimiento minimizando al máximo el impacto ambiental de la instalación a la cuál se todo ello dotado de la más avanzada tecnología. En la actualidad se encuentran instaladas dos de las calderas.



*Figura 8.7. Unión de las calderas con las chimeneas para la extracción de gases de combustión*



*Figura 8.87. Dos grupos térmicos (calderas de condensación) situados sobre las bancadas instaladas en la sala de calderas de la central de calor*

### **8.5.2 Sala de Pilas de Combustible**

El número máximo de **pilas de combustible** (Fig. 8.9) que se instalarán será seis. Con este sistema de **cogeneración** como alternativa a la contribución solar mínima y según se establece en el CTE “Código Técnico de la Edificación” en el artículo 1.2 del Documento Básico HE-4 se cubrirá el **86% de la energía necesaria para el consumo de ACS, frente al 70%** exigido por dicho CTE, pudiéndose por ello como haremos en esta actuación suprimir los paneles solares térmicos normalmente instalados en los edificios.

#### 8.5.2.1 Funcionamiento de las Pilas de Combustible



*Figura 8.9. Una de las 6 Pilas de Combustible que se instalará*

### 8.5.2.2 Esquema de Funcionamiento de la Pila de Combustible

El esquema del funcionamiento queda representado en la fig.8.10 que explica una de las pilas a instalar SIDERA30

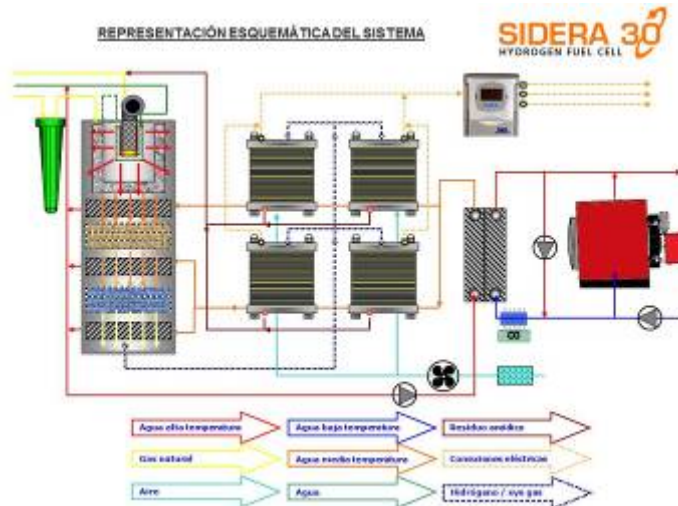


Figura 8.10: Esquema de funcionamiento

### 8.5.2.3 Convenio

Para la implantación de la tecnología de Pila de Combustible la EMVS y el ICP-CSIC (Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas) firmaron a finales de 2008 un Acuerdo de Colaboración mediante el cual el grupo de pilas de Combustible dirigido por Loreto Daza del ICP-CSIC colaborará con la Dirección de Proyectos de Innovación Residencial de la EMVS en el desarrollo tecnológico, pruebas de funcionamiento, asesoramiento técnico, seguimiento y evaluación de la instalación además del asesoramiento previo para la tramitación ante la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la C.M. la nueva normativa de la Pila de Combustible.

### 8.5.3 Red de Distribución

Para la red de distribución de calor se ha optado por utilizar polietileno reticulado por peróxido para el interior de la tubería y polietileno corrugado de alta densidad para el aislamiento exterior. El sistema de distribución es bitubular, dotado de circulación forzada. Se han diseñado 6 circuitos independientes que distribuyen el calor a las diferentes zonas en las que se ha partido el PERI con el objeto de minimizar recorridos y poder anular y by-pasear circuitos en caso de rotura.

En total se instalarán 4.000 metros de tubería en diámetros comprendidos entre 110 mm y 75 mm.

El fluido que circulará por esta instalación térmica será el agua, por lo tanto no estará sujeto a cambios de estado. Las pérdidas globales por el conjunto de instalaciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten.



Figura 8.11: salida de tuberías de la Central



Figura 8.12: red de tubería y arqueta

#### 8.5.4 Subcentrales de los edificios de viviendas

Una vez se vayan construyendo los bloques de viviendas, se irá dotando a cada uno de ellos de una **subcentral de bombeo y acumulación de A.C.S. y calefacción** repartiéndose desde las mismas a las viviendas la energía térmica aportada por la Central de producción de calor.

##### 8.5.4.1 Elementos de las subcentrales

- **Intercambiadores de placas**, se instalarán dos de igual potencia para el mantenimiento sin cortes del servicio.
- **Sistema de bombeo** formado por dos bombas aceleradoras gemelas una en funcionamiento y otra en reserva.
- **Depósito de Acumulación de Inercia** dimensionado con un volumen de al menos 20 litros por vivienda.
- **Módulos Climáticos** (fig. 12) para la producción del ACS y válvula de tres vías para la modulación en temperatura de la calefacción de la vivienda.

Será el encargado de la producción instantánea de ACS mediante intercambiador de placas y de la modulación de la temperatura de calefacción según demanda del usuario. Se alojará en los patinillos (30cm x 65cm x 70cm) que recorren verticalmente el edificio con un máximo de tres módulos por planta y patinillo y será accesible desde el exterior de las viviendas y próximos a ellas.

Equipados con: Válvula de equilibrado en retorno de primario, contador de energía térmica, intercambiador para ACS de hasta 82 Kw., bomba de recirculación, válvula desviadora ACS/calefacción, válvula de tres vías para modulación en calefacción y ACS, centralita de control conectada a crono-termóstato de vivienda.



Figura 8.13. Módulo climático

## 8.6. Características de la central de producción de calor

### 8.6.1 La seguridad

En cuanto a la **planta de producción de calor**, la seguridad será mayor que la de cualquier sala de calderas a gas de cualquier edificio de viviendas, ya que cumplirá la misma normativa, estará ubicada en el exterior y además se construirá enterrada, es decir **el grado de seguridad también es muy elevado, superando en todo momento el exigido por la reglamentación vigente.**

**En la planta de pilas de combustible**, al no existir almacenamiento de hidrógeno, y además al tratarse de un sistema compuesto de elementos estáticos, podemos asegurar que **el grado de seguridad de la misma es muy elevado (Fig. 8.14).**

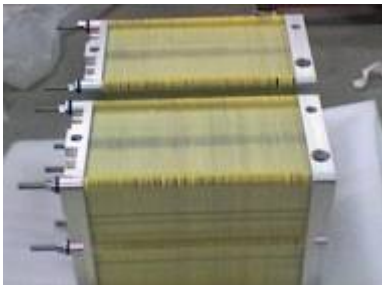


Figura 8.14. Stack de la Pila de Combustible

### 8.6.2 El abastecimiento primario de energía

El suministro de energía primaria a la central deseablemente será biogás procedente de Valdemingómez ya que es el combustible ideal por su característica de energía renovable. No obstante en estos momentos y hasta que el biogás, que llegaría a

través de la red general de la compañía distribuidora de gas no sea una realidad, contaremos tanto para las calderas como para las pilas con gas de la Compañía de Servicio.

En la actualidad las gestiones desde Valdemingómez para la inyección en la red están muy avanzadas existiendo la previsión de que se realice en el segundo trimestre de 2011.

### **8.6.3 La gestión energética**

Deberá existir la figura del Gestor Energético, el cual durante la vigencia del contrato, asumirá a su cargo todas las gestiones necesarias para la venta de energía térmica al usuario y de energía eléctrica a la compañía, además de:

- El aprovisionamiento de energía primaria.
- Alta y fianzas de la compañía distribuidora.
- El mantenimiento preventivo, correctivo y conductivo del conjunto de las instalaciones, 24 horas al día, 365 días al año.
- El agua fría necesaria para el llenado de las instalaciones.
- Los costes telefónicos de la telegestión.
- La garantía total de todas las instalaciones durante el periodo de vigencia del contrato.

**El gestor energético** realizará las lecturas mensuales de los contadores de energía instalados en los patinillos, procediendo a la facturación correspondiente y se encargará de sustituir a su cargo los equipos obsoletos de la instalación.

## **8.7. Sistema de recogida neumática de residuos urbanos**

### **8.7.1 Características del sistema**

- El sistema de RNRU supone:
  - una mejor calidad de vida del ciudadano, contribuyendo con ello a la Sostenibilidad,
  - estar disponible a cualquier hora del día,
  - potenciar la recogida selectiva de basura contribuyendo al reciclado,
  - eliminar olores y ruidos totalmente,
  - mejorar el tráfico, porque elimina el de vehículos pesados
  - al ser un sistema estanco y subterráneo, mejora el medioambiente.

### **8.7.2 Funcionamiento de la Central de RNRU**

Funcionamiento de la Central de Recogida de RNRU, cada una de las dos fracciones de basura desde los puntos de vertido y a través de la red subterránea será conducida hasta el ciclón donde se separará del aire cliente de transporte, que será filtrado saliendo por la chimenea (unos 30º más caliente que el del exterior) cayendo el compactador y posteriormente desde el contenedor se transportará al vertedero. Todas las operaciones están controladas desde la central por el Sistema de control SCADA vía Módem, gestionando un único operador todas las funciones de la instalación.



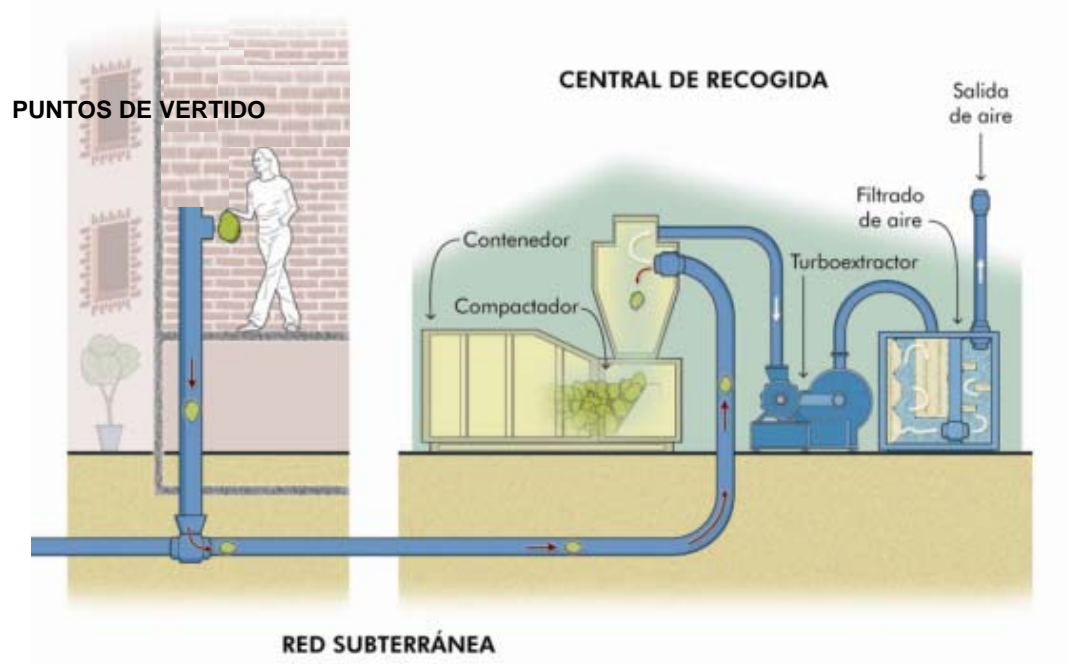


Figura 8.15. Esquema de la central de RNRU

### Principales componentes del sistema de RNRU

#### 8.7.3 Puntos de vertido

Se situarán dos compuertas en la zona común de cada uno de los edificios, donde se depositarán las bolsas en dos “fracciones” de residuos: **envases y resto**.

#### 8.7.4 Red de transporte subterránea

Por tuberías de acero de 500mm de diámetro, la basura circula a gran velocidad arrastrada por el aire. El sistema dispone de **cable de señal y tubo neumático** de aire comprimido (fig.8.16).



Figura 8.16: tubería de la red de RNRU

### 8.7.5 Central de recogida

Cada fracción de basura será conducida hasta el **ciclón** donde se separará del aire caliente de transporte, que será **filtrado**, cayendo al compactador y posteriormente desde el contenedor se transportará al vertedero (fig.8.17 y 8.18).



*Figura 8.17. Maquinaria del sistema de RNRU – CICLÓN*



*Figura 8.18: puente grúa para movimiento de los contenedores (20.000kgs.)*

Todas las operaciones están controladas desde la central por el **Sistema de control SCADA** Vía Módem, gestionando **un único operador** todas las funciones de la central (fig.8.19).



*Figura 8.19: acceso Central RNRU y sala de control*

## 9. Los residuos como recurso energético

### 9.1. Situación general de los residuos y su gestión en España

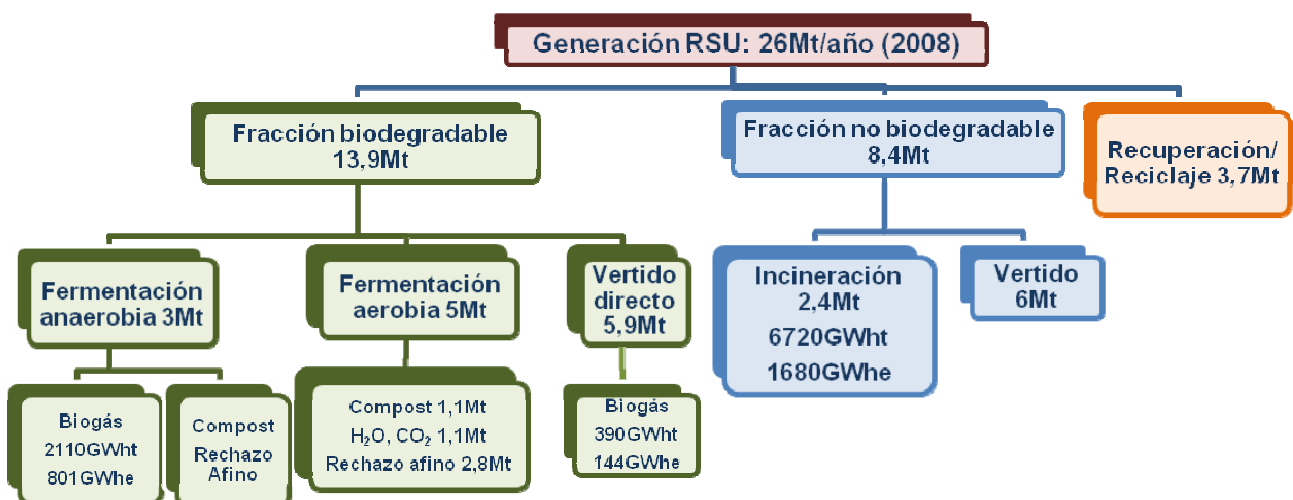
En noviembre de 2008 se publicó la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, que tiene por objeto “establecer medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso”. Dicha Directiva está en fase de transposición a los estados miembro de la Unión Europea, finalizando el plazo de transposición el próximo mes de diciembre de 2010.

En la Directiva, una vez establecidas las definiciones, se establece también un principio de jerarquía en la gestión de residuos, que es la que sigue:



Es decir, la eliminación en vertedero es la última de las opciones deseables, debiéndose optar por la valorización energética de los residuos en aquellos que no puedan ser reutilizados o reciclados. Así mismo, cuando se aplique la jerarquía de residuos, los EE.MM. deben adoptar medidas para estimular las opciones que proporcionen el mejor resultado medioambiental global. Ello puede requerir que determinados flujos de residuos se aparten de la jerarquía, cuando esté justificado por un enfoque de ciclo de vida sobre los impactos globales de la generación y gestión de los mismos.

En la actualidad, la totalidad de los residuos generados en España está repartida, en función del destino final, de la siguiente forma (fuente: Eurostat):



El objetivo es alcanzar un sistema de gestión optimizado para cada población o área, llegando al máximo de recuperación de materiales para su reciclaje, máximo aprovechamiento energético de las fracciones no recuperables y minimizando el vertido. En este sentido es importante destacar el RD 1481/2001, según el cual el porcentaje de materia biodegradable enviada a vertedero deberá reducirse a:

- 2006.- 75% de la FORSU generada en 1995 (8,7Mt/año)
  - 2009.- 50% de la FORSU generada en 1995 (5,8Mt/año)
  - 2016.- 35% de la FORSU generada en 1995 (4Mt/año)
- FORSU 1995: 11.934.142t (fuente: PNIR 2008-2015)

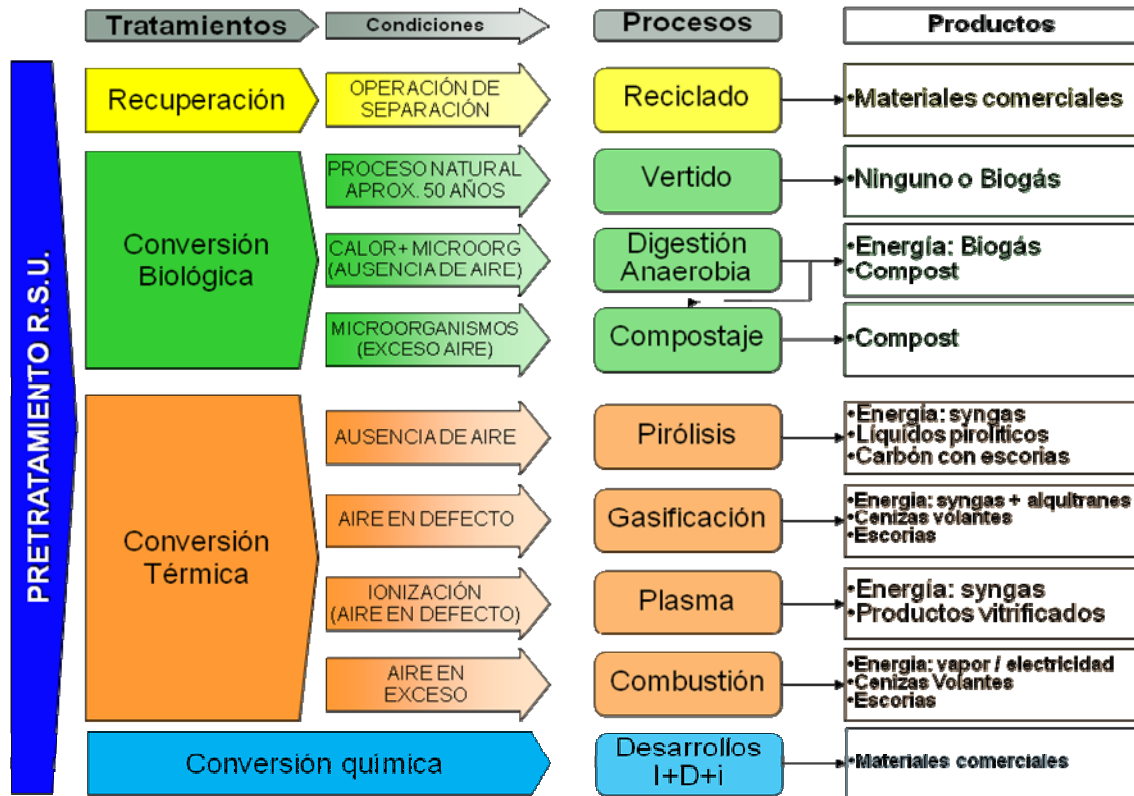
En la actualidad no se está cumpliendo esta normativa.

## **9.2. Esquema de gestión y tratamiento óptimo de los residuos urbanos en función del tamaño de los municipios**

La cantidad de residuos generados por habitante en España puede variar en función del tipo de población (rural, urbana...). Así mismo, la concentración de población condiciona el sistema de gestión a aplicar. No obstante, como valor medio de generación de residuos se puede considerar el de 570kg/habitante anuales (fuente: Eurostat).

En función del tamaño de cada municipio, se aplica un sistema de gestión que puede comprender diferentes procesos. Cada municipio o comunidad es responsable de dicha gestión, debiéndose buscar una optimización desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental. De esta forma se debería aplicar, de acuerdo con la Directiva, además del principio de jerarquía, los principios básicos de autosuficiencia y proximidad en la gestión de los residuos, considerando en todo momento los condicionantes de las economías de escala que obligan a la agrupación de comunidades próximas entre sí de forma que se alcancen dichas economías de escala.

Los distintos procesos de tratamiento de RSU se detallan en el esquema a continuación:

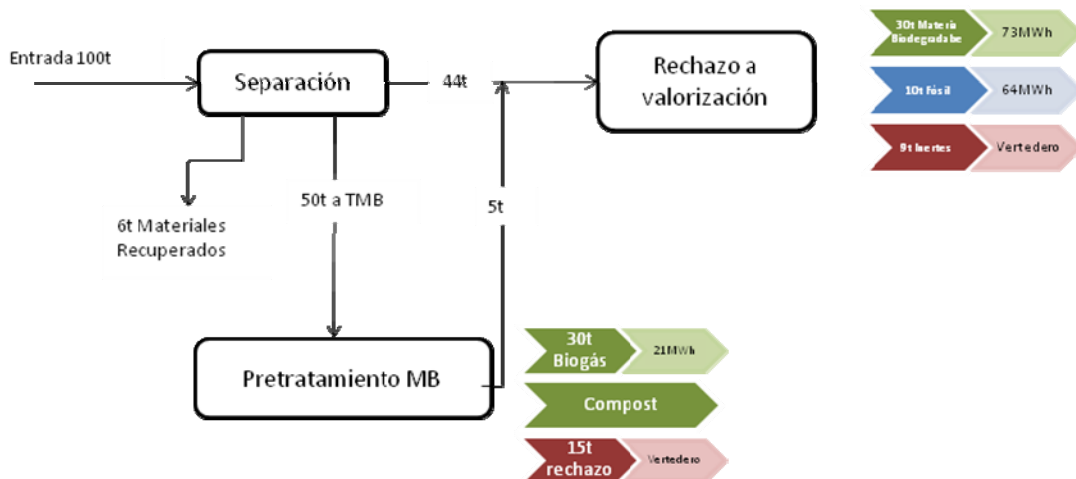


En la actualidad, en función del volumen de residuos a tratar, se plantean sistemas de tratamiento con conversión biológica, preferentemente de digestión anaerobia para posterior aprovechamiento energético del biogás, y con una valorización energética mediante conversión térmica de la fracción resto. La conversión biológica en algunos casos puede condicionar la viabilidad económica de la planta por cuestiones de escala, con lo que se puede plantear un sistema de conversión térmica directa del residuo, previa recuperación de materiales reciclables.

Ambos esquemas de tratamiento, y su correspondiente balance de masas, se detallan a continuación:

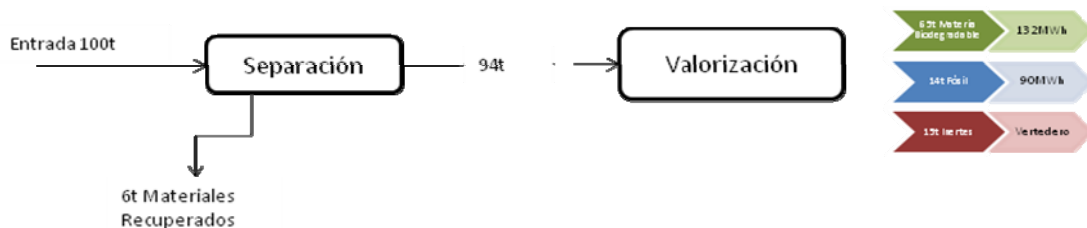
9.2.1. Sistema de tratamiento mecánico biológico con valorización energética del rechazo (para volúmenes de tratamiento de 150.000t/año, 260.000 hab)

Entrada	Separación		Destino		Energía primaria		Valorización	Rendimiento eléctrico	Energía eléctrica	
100t RSU	6t	Recuperados	A Reciclaje							
	50t	A TMB	Digestión	30t	Biogás	21 MWh	1,8 tep	Motores	38%	8 MWh
			Vertedero	15t	Rechazo	A vertedero				
			Valorización energética	3,75t	Materia Orgánica	9 MWh	0,8 tep	Valorización	25%	2,3 MWh
	1,25t	Fósil		8 MWh	0,7 tep	2,0 MWh				
	44t	Rechazo	Valorización energética	26,25t	Materia Orgánica	64 MWh	5,5 tep	Valorización	25%	16 MWh
				8,75t	Fósil	56 MWh	4,8 tep			14 MWh
9t			Inertes	A vertedero						



9.2.3. Sistema de valorización energética directa (para volúmenes de tratamiento de 75.000t/año, 130.000 hab)

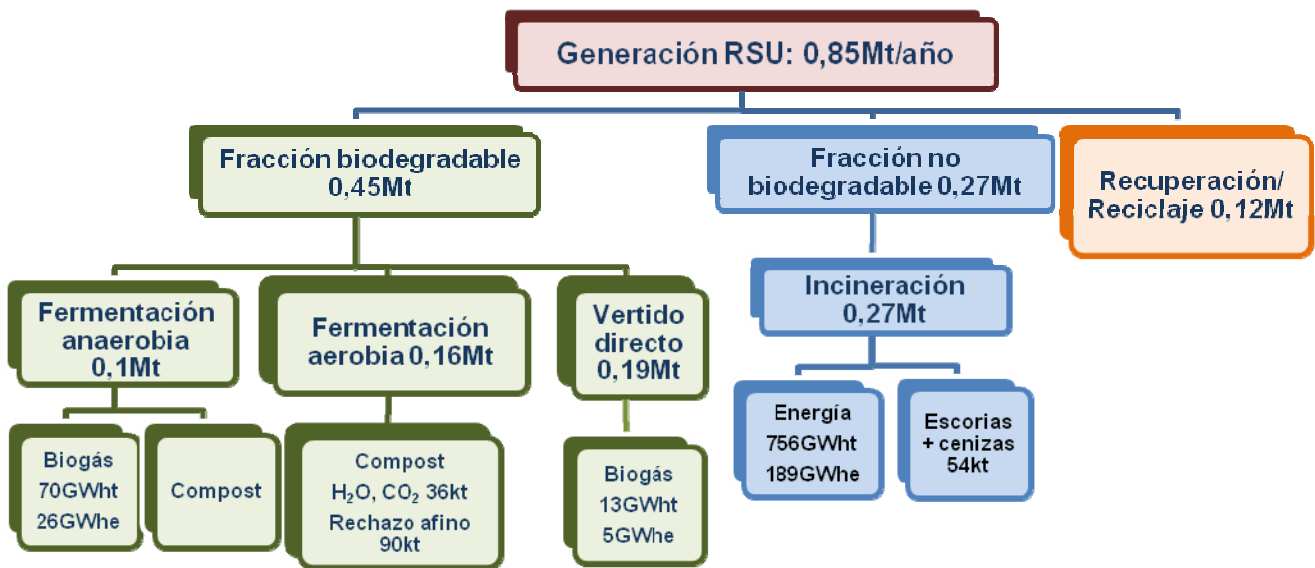
Entrada	Separación		Destino		Energía primaria		Valorización	Rendimiento eléctrico	Energía eléctrica
100t RSU	6t	Recuperados	A Reciclaje						
	94t	Valorización	65t	Materia Orgánica	132 MWh	11 tep	Valorización	24%	32 MWh
			14t	Fósil	90 MWh	8 tep			21 MWh
			15t	Inertes	A vertedero				



Como producto de la valorización energética se obtienen unas cenizas y escorias que actualmente tienen como destino el vertido. Un sistema óptimo de aprovechamiento debe incluir una valorización de estos productos con el objetivo de maximizar eficiencia y minimizar vertido, estableciéndose un objetivo final de vertido CERO.

9.3. Particularización para un municipio tipo

A continuación se muestra el ejemplo concreto para una ciudad tipo de tamaño grande, con una población de aproximadamente 1,5 millones de habitantes. Estas poblaciones requieren un sistema de gestión del residuo que cuente con diversas plantas de tratamiento que incluyan uno o varios procesos de los descritos anteriormente. En función del destino final, se puede resumir la gestión de residuos de este tipo de población de la siguiente manera:



Este esquema de gestión, según los sistemas actuales de gestión, estaría repartido entre las siguientes plantas:

- 1 instalación de tratamiento integral de residuos con capacidad para 200.000 t/año, incluyendo:
  - o Pretratamiento con recuperación de materiales reciclables
  - o Tratamiento mecánico biológico con producción de biogás mediante digestión anaerobia
  - o Incineración de la fracción rechazo.
- 2 instalaciones sin digestión anaerobia, con capacidad para 325.000 t/año:
  - o Pretratamiento con recuperación de materiales reciclables
  - o Compostaje (tratamiento biológico aerobio)
  - o Incineración de la fracción rechazo

De esta forma, la energía recuperada total viene dada por

- Generación eléctrica a partir del biogás procedente de la digestión anaerobia en digestores y vertederos.
- Generación eléctrica a partir de la incineración

Así, se obtiene un aprovechamiento energético de 220GWh eléctricos. A esta cantidad se le debe restar el consumo eléctrico neto que supone el tratamiento de la fracción orgánica mediante compostaje, que es aproximadamente de 15kWh/t. De esta forma, se tendría un aprovechamiento energético neto en generación de 217GWh.

No obstante, para una población del tipo que estamos analizando, podría obtenerse un mayor rendimiento energético siguiendo el sistema descrito en el punto 2.1 anterior. De esta forma, se obtiene un potencial energético de esta cantidad de residuos, dado como energía primaria de 1.340GWh, que aprovechados simplemente como fuente de

generación de energía eléctrica (sin aprovechamiento de calor), darían 360GWh, es decir, un aprovechamiento un 65% mayor que en los sistemas de gestión actuales.

#### **9.4. Mejoras posibles en el sistema actual**

Como queda patente en el apartado anterior, los residuos urbanos tienen un contenido energético que actualmente no está siendo óptimamente aprovechado por dos razones:

- Optimización del sistema de gestión: El sistema de gestión óptimo para una población debe ser diseñado de forma que se alcancen los siguientes objetivos:
  - o Recuperación de materiales para reciclaje máxima
  - o Tratamiento específico de cada una de las fracciones con valorización máxima, en su caso, energética.
  - o Minimización del vertido, tanto de materia biodegradable como no biodegradable.
- Aprovechamiento de todo el potencial energético: Actualmente el contenido energético del residuo, tanto en forma de biogás como de combustible directo en una incineradora, está siendo aprovechado sólo para producción eléctrica. Existe por tanto una gran pérdida de energía térmica que podría ser utilizada, en función de la ubicación de la instalación y de las condiciones climáticas, con sistemas de District Heating/Cooling. Este aprovechamiento térmico en la mayoría de los casos se presenta imposible, dada la lejanía de las instalaciones de los potenciales centros de consumo de energía térmica.

Así mismo, se abre actualmente otra vía de posible mejora del rendimiento global en el aprovechamiento de escorias y cenizas de incineradoras, ya sea como combustible alternativo o para otros usos. Esto supone no sólo un mejor aprovechamiento del recurso, sino una disminución del vertido, que actualmente supone en torno al 20% de la cantidad de residuo que entra en la incineradora.

#### **9.5. Otras vías posibles de mejora en el aprovechamiento energético de los residuos urbanos**

Además de las posibles mejoras aplicables directamente sobre el sistema actual, presentadas en el punto anterior, se plantean distintas posibilidades de mejora mediante la introducción de nuevos procesos de tratamiento que se detallan a continuación:

##### *9.5.1. Producción de combustible a partir de residuos urbanos:*

El Proyecto de Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables (borrador de 2009) introduce los Combustibles Sólidos Recuperados (CSR) en el conjunto de las fuentes de energía renovable, a todos los efectos contemplados en la ley (objetivos, medidas fiscales, régimen especial, de energía eléctrica...). Los CSR



son combustibles procedentes de los residuos que han sido tratados para alcanzar unas especificaciones y calidad definidas y comprobables.

En la actualidad, se está desarrollando una normativa a nivel europeo para la producción, especificaciones y empleo de los Combustibles Sólidos Recuperados (CSR). Estos trabajos se están llevando a cabo por el Comité Europeo de Normalización CEN/TC 343, y tiene por objeto definir, clasificar y determinar la calidad de dichos combustibles para su uso en centros de consumo tales como cementeras, centrales térmicas, etc.

La producción y utilización de estos combustibles presenta las ventajas e inconvenientes que se enumeran a continuación:

- **Ventajas:**
  - Generación distribuida, cercana a los centros de producción y de consumo
  - Disminución de la dependencia energética: Los CSR sustituyen en su aplicación a combustibles fósiles tales como carbón, gas natural, derivados del petróleo, etc., que provienen del exterior. Esto implica un aumento de la eficiencia energética y ahorros económicos.
  - Disminución del vertido: Los CSR se pueden obtener a partir de la fracción rechazo en los casos en que éste es enviado a vertedero.
  - Alta eficiencia en su aprovechamiento: El uso de los CSR tiene fundamentalmente aplicaciones térmicas, es decir, se obtiene un rendimiento por encima del que se obtendría en caso de generación eléctrica.
  
- **Inconvenientes:**
  - Economías de escala: El coste económico y energético de la preparación del CSR es alto, por lo que su viabilidad está fuertemente condicionada por economías de escala.
  - Competencia en mercado con combustibles convencionales: Esto será un inconveniente o una ventaja, en función del mercado de los combustibles fósiles.
  - Dependencia de la evolución del negocio del cliente: Por ejemplo, en el caso de cementeras, dependencia del sector de la construcción.
  - Preparación de combustible a medida del cliente: Cada posible usuario de CSR exige unas determinadas especificaciones técnicas, tales como PCI, contenido en Cl o Hg, etc., en función de su proceso, debido a limitaciones técnicas del mismo o a limitaciones medioambientales. Esta preparación "a medida" implica mayores costes de producción.
  - Desclasificación del CSR como residuo: Aunque la Directiva de Residuos contempla los casos en los que el residuo puede desclasificarse como tal, no está aún claramente definido para los CSR. Su desclasificación como residuo eliminará barreras legales y administrativas en su distribución.

### 9.5.2. *Inyección de biogás en la red de gas natural:*

El biogás generado en las instalaciones de biometanización y en los vertederos tiene actualmente una aplicación exclusivamente eléctrica en motores de generación. En algunos casos, incluso, se debe quemar este biogás en una antorcha, sin aprovechamiento alguno, sea por inviabilidad económica o sea por inviabilidad técnica (por ejemplo por incapacidad de la red eléctrica de absorber dicha generación). La inyección del biogás en la red de gas natural, una vez cumplidos unos requisitos técnicos, es una alternativa que puede mejorar su aprovechamiento. Esta opción presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

- **Ventajas:**
  - Disminuye la dependencia energética por sustitución de combustibles fósiles
  - Uso del biogás en instalaciones más eficientes y lejanas que el mero uso en motores de generación eléctrica (usos térmicos)
- **Inconvenientes:**
  - Falta de regulación respecto a las condiciones técnicas de la inyección de biogás en la red. Esto supone que en la actualidad se está sujeto a la voluntad del propietario de la red de gas, sea de distribución o de transporte, para dicha inyección, exigiéndose a menudo condiciones que pueden ser mucho más estrictas de lo necesario, haciendo inviable económicamente la inyección. En este sentido, existe una normalización europea en desarrollo.
  - Falta de regulación respecto a las condiciones económicas del uso del biogás para aplicaciones diferentes a la generación de energía eléctrica in situ, que está incentivada económicamente a través del régimen especial de producción de energía eléctrica (RD 661/2007). Dado su carácter renovable, debería establecerse un régimen especial para el uso del biogás inyectado a la red, que puede tener aplicaciones eléctricas en lugares más alejados, o aplicaciones térmicas.
  - Coste económico y energético en la depuración del gas, inyección en red y transporte.

### **9.6. Ventajas y barreras en el aprovechamiento de los residuos urbanos como recurso energético. Conclusiones.**

Como hemos visto, existe un potencial energético en los residuos urbanos que podría ser aprovechado implementando algunas mejoras en el sistema. Como conclusión y resumen, se enumeran a continuación las ventajas que ofrece el aprovechamiento de este recurso infrautilizado, al igual que las barreras existentes por las cuales no se da este aprovechamiento.

#### 9.6.1 *Ventajas*

#### 9.6.1.1 Energéticas

- Recurso inagotable de buen contenido energético: El residuo se genera a diario en grandes cantidades. Si se establece un sistema de tratamiento óptimo, diseñado específicamente para cada tipo y fracción de residuo, en el que haya una máxima recuperación de materiales reciclables, queda aún una fracción con un buen potencial energético que termina destinado a vertedero.
- Disminución de la dependencia energética del exterior y de los mercados de combustibles fósiles: Mediante el máximo aprovechamiento energético de las diferentes fracciones del residuo se puede generar energía que en otro caso debería ser generada en su mayor parte a partir de combustibles fósiles. Estos combustibles fósiles proceden en su mayoría del exterior, y constituyen un mercado volátil y en alza.
- Generación distribuida: El aprovechamiento energético del residuo en el lugar del tratamiento o en lugares cercanos favorece la generación distribuida, lo que implica menores pérdidas y costes por infraestructuras y transporte.

#### 9.6.2.2 Ventajas medioambientales

- Disminución del vertido, tanto de materia orgánica (limitada por Directiva Europea traspuesta en el mencionado RD 1481/2001) como inorgánica. Esto implica un aumento en la vida de los vertederos de cola, en todo caso necesarios.
- Parte del recurso es renovable: La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) está considerada a nivel europeo y mundial como fuente renovable de energía. Su aprovechamiento implica una disminución global en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 9.6.2. Barreras

##### 9.6.2.1 Técnicas / Económicas

En función de la concentración de residuos y debido a economías de escala, la capacidad de aprovechamiento puede estar limitada. Para cada tipo de residuo, y cada fracción del mismo, debe diseñarse un sistema de tratamiento óptimo, que maximice la recuperación de materiales reciclables y el aprovechamiento energético, dentro de la viabilidad económica del mismo.

##### 9.6.2.2. Políticas/ Sociales

Existe en ciertos sectores oposición a instalaciones de valorización energética fundamentalmente por dos motivos:

- Percepción de que se opone al reciclaje: Esta percepción es errónea ya que, como se ha visto, la valorización energética es la última opción previa al vertido, habiéndose sometido en todo caso el residuo a una separación previa de los materiales reciclables.
- Desconocimiento del cumplimiento de estrictos condicionantes medioambientales en sus emisiones de gases: Las instalaciones de incineración cumplen la legislación más estricta de emisiones de gases existente, y los valores de emisiones se encuentran siempre muy por debajo de

estos límites. Debido a esta estricta legislación, los valores de emisiones de todo tipo de sustancias nocivas se encuentran muy por debajo de los valores de otros tipos de instalaciones, ya sean de generación, de fabricación, incluso en el sector del transporte.

#### *9.6.2.3. Puramente económicas: Régimen Especial*

La viabilidad de las instalaciones de valorización, como por ejemplo de aprovechamiento de biogás, está fuertemente condicionada por el régimen especial de producción de energía eléctrica. Esto dificulta el óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles. Así mismo, sólo existe un régimen especial en cuanto a la generación de energía eléctrica, quedando otros usos (térmico, inyección de biogás en la red) sin incentivo económico que ayude a su desarrollo.

En conclusión, la gestión de los residuos en España actualmente está lejos de alcanzar la eficiencia deseable. Existe un recurso energético aprovechable que actualmente acaba en los vertederos, lo que conlleva a su vez incumplimientos en normativa de residuos, y un alto coste medioambiental.

## Anexo 1 - Referencias bibliográficas

### Capítulo 2

- [1] H. Doukas, K. D. Patlitzianas, K. Iatropoulos, and J. Psarras, "Intelligent building energy management system using rule sets," *Building and Environment*, vol. 42, issue 10, pp. 3562-3569, 2007.
- [2] D. Kolokotsa, K. Kalaitzakis, E. Antonidakis, and G. S. Stavrakakis, "Interconnecting smart card system with PLC controller in a local operating network to form a distributed energy management and control system for buildings," *Energy Conversion and Management*, vol. 43, issue 1, pp. 119-134, 2002.
- [3] Y. Yao, Z. Lian, Z. Hou, and X. Zhou, "Optimal operation of a large cooling system based on an empirical model," *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, issue 16, pp. 2303-2321, 2004.
- [4] R. Alcalá, J. Casillas, O. Cordon, A. Gonzalez, and F. Herrera, "A genetic rule weighting and selection process for fuzzy control of heating, ventilating and air conditioning systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 18, issue 3, pp. 279-296, 2005.
- [5] K. F. Fong, V. I. Hanby, and T. T. Chow, "HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming," *Energy and Buildings*, vol. 38, issue 3, pp. 220-231, 2006.
- [6] L. Pedersen, "Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, issue 5, pp. 998-1007, 2007.
- [7] L. Pedersen, J. Stang, and R. Ulseth, "Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems," *Energy and Buildings*, vol. 40, issue 7, pp. 1124-1134, 2008.
- [8] P. A. Gonzalez and J. M. Zamarreno, "Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network," *Energy and Buildings*, vol. 37, issue 6, pp. 595-601, 2005.
- [9] P. Lauret, E. Fock, R. N. Randrianarivony, and J.-F. Manicom-Ramsamy, "Bayesian neural network approach to short time load forecasting," *Energy Conversion and Management*, vol. 49, issue 5, pp. 1156-1166, 2008.
- [10] A. Khotanzad, E. Zhou, and H. Elragal, "A Neuro-Fuzzy Approach to Short-Term Load Forecasting in a Price-Sensitive Environment," *Power Engineering Review, IEEE*, vol. 22, issue 9, pp. 55-55, 2002.

- [11] R. Kamphuis, F. Kuijper, C. Warmer, M. A. H. M. Hommelberg, and A. K. K. Koen Kok, "Software agents for matching of power supply and demand: a field-test with a real-time automated imbalance reduction system," in *Future Power Systems, 2005 International Conference on*, 2005, p. 7 pp.
- [12] B. Forth and T. Tobin, "Right power, right price [enterprise energy management systems]," *Computer Applications in Power, IEEE*, vol. 15, issue 2, pp. 22-27, 2002.
- [13] J. Sheppard and A. Tisot, "Industrial Energy Management: Doing More with Less," *IETC - Industrial Energy Technology Conference*, 2006.
- [14] J. C. Van Gorp, "Enterprising energy management," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 2, issue 1, pp. 59-63, 2004.
- [15] J. C. Van Gorp, "Maximizing energy savings with enterprise energy management systems," in *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 2004. Conference Record of the 2004 Annual*, 2004, pp. 175-181.
- [16] H.-C. Huang, R.-C. Hwang, and J.-G. Hsieh, "A new artificial intelligent peak power load forecaster based on non-fixed neural networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, issue 3, pp. 245-250, 2002.
- [17] A. Khotanzad, Z. Enwang, and H. Elragal, "A neuro-fuzzy approach to short-term load forecasting in a price-sensitive environment," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 17, issue 4, pp. 1273-1282, 2002.
- [18] J. J. Bann, G. D. Irisarri, S. Mokhtari, D. S. A. K. D. S. Kirschen, and B. N. A. M. B. N. Miller, "Integrating AI applications in an energy management system," *IEEE Expert [see also IEEE Intelligent Systems and Their Applications]*, vol. 12, issue 6, pp. 53-59, 1997.
- [19] F. Maghsoodlou, R. Masiello, and T. Ray, "Energy management systems," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 2, issue 5, pp. 49-57, 2004.
- [20] M. E. Pye and T. D. Russell, "Intelligent energy management systems. An operator view," in *Power System Control and Management, Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 421)*, 1996, pp. 154-159.
- [21] H. A. Gabbar, "Enterprise energy management using Hybrid Energy Supply Unit (HENSU)," in *Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference on*, 2007, pp. 2284-2289.

### Capítulo 3

- [1] New Era for electricity in Europe. Distributed generation: key issues, challenges and proposed solutions, 2003.

- [2] Smart Grid, Smart City. A new direction for a energy era, Department of Environment, Water, Heritage and the Arts. Australian Government. 2009.
- [3] Smart Cities European Industry Initiative. Brigitte Bach, Austrian Institute of Technology, Energy Department. SET-Plan Conference 2010, Madrid.
- [4] "Libro de la Energía en España 2009". Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.