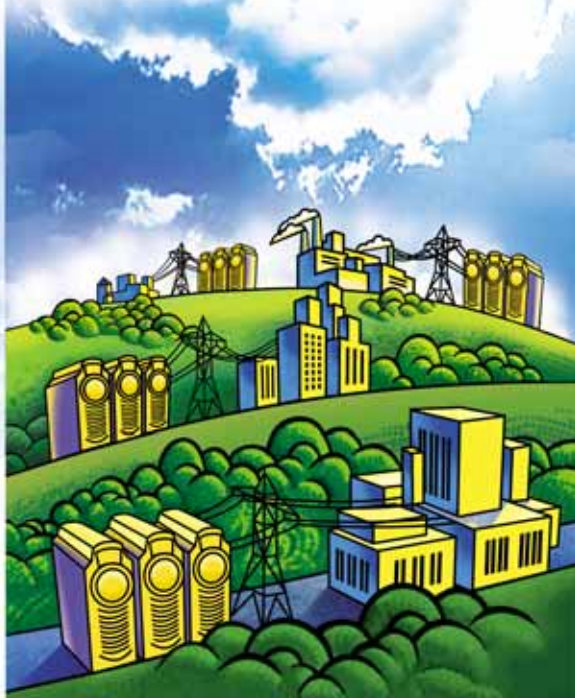


## Generación eléctrica distribuida



## Prólogo

En la Fundación Gas Natural nos proponemos, como tarea principal, contribuir a la sensibilización de la sociedad española en la preservación y mejora del medio ambiente. Muy en especial en todos aquellos aspectos en los que se halla involucrada la producción, distribución y consumo de energía.

De ahí que hayamos acogido con satisfacción el patrocinio y la edición del presente estudio, realizado por el Instituto de la Ingeniería de España, mediante un equipo de magníficos profesionales encabezados por D. Jesús Casado.

Estamos convencidos de que la generación eléctrica distribuida constituye no sólo un reto tecnológico y empresarial de enorme interés, sino también una iniciativa que puede tener significativas ventajas ambientales.

La primera de ellas gira en torno al ahorro de las pérdidas de energía durante el transporte. La generación distribuida, que consiste en producir electricidad lo más cerca posible del usuario final, permite mejorar el rendimiento energético, con todo lo que ello supone de reducción del consumo de energía primaria y de disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Otra ventaja ambiental es la reducción de riesgos de afectación de los espacios naturales, núcleos habitados e infraestructuras. Los sistemas de transporte de electricidad han generado, en ocasiones, accidentes que han afectado negativamente a los espacios naturales y han supuesto riesgos para los núcleos urbanos. Nos referimos a accidentes forestales o a la destrucción de la fauna. La generación distribuida evita estos riesgos.

Pero, aún siendo importantes, no son éstas las principales ventajas ambientales. Quizás las más importantes se hallan en el terreno sociológico. Es decir, acercar la generación eléctrica al usuario final, permite que el ciudadano esté más próximo a la responsabilidad de la producción de energía, contribuyendo, de forma significativa a la reducción del denominado efecto NIMBY (*not in my back yard*).

La sociedad española afronta, al respecto, una notable paradoja. Por una parte, demanda de forma creciente energía para los más diversos usos. Por otra, no siempre está dispuesta a asumir la responsabilidad y los eventuales costes de la generación de esta energía. Esta disociación (reclamar todos los beneficios sin asumir sus costes), es lo que genera el efecto NIMBY.

Este efecto aumenta cuando las instalaciones de generación eléctrica se hallan muy lejos del usuario final. El ciudadano no conoce de cerca lo que es la generación eléctrica, lo que aumenta los recelos y los miedos, muchas veces injustificados. La proximidad permite el conocimiento, y facilita, además, la transparencia. También estimula el sentido de responsabilidad y de “pertenencia”.

Por todo ello, la generación eléctrica distribuida es una perspectiva de futuro que observamos con gran interés. Es una buena alternativa para garantizar la continuidad y la calidad del suministro. Pero lo es más todavía en un aspecto crucial: el de que cada ciudadano entienda que la generación eléctrica, que es una base importante de su bienestar, es algo cercano y tan próximo y necesario como un centro de enseñanza o un mercado municipal.

Antonio Llardén

**Director Corporativo de Tecnología,  
Medio Ambiente, Calidad y Seguridad del  
Grupo Gas Natural**

# Índice

## Introducción

*Por Jesús Casado de Amezúa* ..... 11

## Capítulo 1

**El futuro de la energía** ..... 13

*Por Ricardo Granados, Luis Zarauza*

- 1.1. Cantidad y calidad. Consideraciones medioambientales. .... 14
- 1.2. El sistema descentralizado. Definición. Características. .... 21
- 1.3. Aplicaciones y beneficios de la GD. .... 32
- 1.4. Relación con otros sistemas energéticos no eléctricos. .... 39
- 1.5. El caso de la Unión Europea. .... 41

## Capítulo 2

**Un nuevo modelo de negocio eléctrico** ..... 49

*Por Gerardo González, Fernando Soto y Luis Zarauza*

- 2. Un cambio de modelo en el negocio eléctrico. .... 49
  - 2.1. Agentes del sistema descentralizado. .... 50
  - 2.2. Aplicación al caso español. .... 53
    - 2.2.1. Generación en régimen especial. .... 54
    - 2.2.2. La generación distribuida en el horizonte 2010. .... 55
    - 2.2.3. Incidencia en la operación del sistema. Impacto a corto plazo. .... 58

## Capítulo 3

**Tecnologías** ..... 61

*Por Angel Alonso, Tomás Alvarez, Emilio Menéndez, Mariano Muñoz*

*Alfonso Pantoja, Antoni Julià*

- 3.1. El empuje de la tecnología. .... 61
  - 3.1.1. Turbina de gas. .... 61
  - 3.1.2. Microturbinas. .... 62
  - 3.1.3. Pilas de combustible. .... 65

3.1.3.1. Definición. ....	65
3.1.3.2. Componentes de una pila de combustible. ....	65
3.1.3.3. Principio de funcionamiento. ....	66
3.1.3.4. Tecnologías. ....	67
3.1.3.5. Combustible. ....	70
3.1.4. Sistemas híbridos. ....	72
3.2. Prestaciones y mercado. ....	73
3.2.1. Prestaciones y costes. ....	73
3.2.2. Previsiones de mejoras en microgeneración. ....	77
3.3. Combustibles. ....	79
3.4. Barreras regulatorias y tecnológicas. ....	83
3.4.1. Consideraciones sobre la regulación de los SS.DD. ....	83
3.4.1.1. Barreras a la entrada. ....	83
3.4.1.2. Incentivos a la entrada. ....	84
3.4.2. Consideraciones tecnológicas: puntos abiertos. ....	85
3.4.2.1. Estabilidad del sistema eléctrico con generación distribuida. ....	85
3.4.2.2. Otros efectos a estudiar. ....	86
3.5. Las energías renovables en la generación distribuida de electricidad. ....	88
3.5.1. Planteamiento ....	88
3.5.2. La energías renovables en el sistema eléctrico español. ....	88
3.5.3. Energía eólica. ....	88
3.5.4. Biomasa. ....	95
3.5.5. Energía solar termoeléctrica. ....	98
3.5.6. Energía solar fotovoltaica. ....	99
3.6. Motores alternativos de combustión interna. ....	100
3.6.1. Aspectos básicos. ....	100
3.6.2. Comparación con otras tecnologías de generación distribuida. ....	102
3.6.3. Integración de sistemas. ....	105
3.6.4. Empleo de biocombustibles. ....	108
3.6.4.1. Bioalcoholes. ....	108

3.6.4.2. Bioaceites. ....	110
3.6.4.3. Biogases. ....	110
3.6.5. Los MACI y el medio ambiente. ....	111
3.6.5.1. Convertidores catalíticos. ....	112
3.6.5.2. Recirculación de los gases de escape (EGR). ....	113
3.6.5.3. Sistemas de combustión de mezcla pobre. ....	113
3.6.6. Mantenimiento de motores alternativos. ....	114
3.6.6.1. Mantenimiento predictivo. ....	115
3.6.6.2. Mantenimiento preventivo. ....	116
3.6.6.3. Mantenimiento correctivo. ....	116
3.7. Motores alternativos de combustión externa. ....	116
3.7.1. Principio de funcionamiento del motor Stirling. ....	116
3.7.2. Ventajas e inconvenientes del motor Stirling. ....	120
3.7.3. El motor Stirling y el medio ambiente. ....	121
3.7.4. Pasado y futuro del motor Stirling. ....	123
3.8. Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. ....	124
3.8.1. Resumen. ....	124
3.8.2. Introducción. ....	125
3.8.3. Funciones de los sistemas de almacenamiento. ....	126
3.8.3.1. Económicas. ....	127
3.8.3.2. Técnicas ....	127
3.8.4. Almacenamiento en el nivel del consumo. ....	131
3.8.5. Sistemas de almacenamiento según la forma de energía almacenada. ..	132
3.8.5.1. Mecánica. ....	133
3.8.5.2. Química. ....	133
3.8.5.3. Electromagnética. ....	133
3.8.6. Tecnologías de los sistemas de almacenamiento. ....	135
3.8.6.1. Almacenamiento electroquímico: baterías de acumuladores. ..	136
3.8.6.1.1. Baterías convencionales. ....	136
3.8.6.1.2. Baterías de diseño avanzado. ....	137
3.8.6.2. Almacenamiento electroquímico: pilas regenerativas. ....	139
3.8.7. Volantes de inercia. ....	141
3.8.7.1. Energía cinética almacenada en un volante. ....	141

3.8.7.2. Materiales utilizados. ....	143
3.8.7.2.1. Materiales para volantes de baja velocidad. ....	143
3.8.7.2.2. Materiales para volantes de alta velocidad. ....	143
3.8.7.3. Dispositivos de sustentación.	
Cojinetes convencionales y magnéticos. ....	145
3.8.7.3.1. Cojinetes magnéticos. ....	145
3.8.7.3.2. Cojinetes magnéticos superconductores. ....	146
3.8.7.4. Máquina eléctrica de alta velocidad. ....	147
3.8.8. Bobinas superconductoras. ....	148
3.8.8.1. Energía almacenada en un campo magnético.	
Modelo de la bobina. ....	148
3.8.8.2. Superconductividad. Materiales superconductores. ....	153
3.8.8.2.1. Superconductores de baja temperatura. ....	153
3.8.8.2.2. Superconductores de alta temperatura. ....	156
3.8.9. Aplicaciones de los sistemas de almacenamiento. ....	156
3.8.9.1. Compensación de las fluctuaciones de tensión.	
Parpadeo (flicker). ....	157
3.8.9.2. Mejora de la estabilidad de pequeña perturbación.	
Estabilidad dinámica. ....	160
3.8.9.3. Mejora de la estabilidad transitoria. ....	162