

TECNOLOGÍAS Y COSTES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

LA ACTIVIDAD DE GENERACIÓN

La actividad de generación eléctrica consiste, de forma simplificada, en transformar alguna clase de energía no eléctrica (nuclear, térmica, hidráulica, eólica, solar, etc.) en energía eléctrica. Cada una de estas tecnologías tiene diferentes estructuras de costes y características técnicas:

- Cada tecnología resulta especialmente adecuada técnica y económicamente para prestar un servicio concreto en relación con la cobertura de la demanda eléctrica.
- Todas las tecnologías son necesarias, ya que se complementan para suministrar de la forma más adecuada posible la energía que demandan los consumidores en cada momento.

A modo de ejemplo, hay centrales con unos *costes fijos muy altos* (amortización de la inversión, parte fija del coste de operación y mantenimiento, etc.) pero con unos *costes variables muy bajos*. Estas centrales son las más adecuadas para producir de forma constante a lo largo del tiempo (un número de horas al año muy elevado). Por el contrario, hay centrales con unos *costes fijos muy bajos* pero con unos *costes variables muy altos*. Estas centrales son las más adecuadas para producir un reducido número de horas al año (aquellas en las que la demanda es más alta).

Asimismo, una característica propia de la electricidad es la imposibilidad de almacenar energía en grandes cantidades. Por ello, *se debe producir en cada instante exactamente la energía que se demanda*. Dada la volatilidad de la demanda en el corto plazo, *son necesarias centrales que puedan incrementar / reducir su producción muy rápidamente para seguir a la demanda*.

Por último, en los últimos tiempos es cada vez más necesario disponer de tecnologías que permitan satisfacer las *restricciones medioambientales* (generar electricidad sin contaminar) y que aporten seguridad de suministro al sistema, mitigando el riesgo de desabastecimiento de combustibles que provienen del exterior (como el gas natural – riesgo geopolítico) y el riesgo derivado de factores no controlables (por ejemplo, la hidrolicidad en el sistema).

Así, resulta evidente que cada tecnología presta un servicio concreto en la cobertura de la demanda, que todas son necesarias y que se complementan unas con otras para suministrar la energía demandada en cada momento de la forma más adecuada posible.

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Las tecnologías de generación eléctrica presentes en el mercado español de generación son las siguientes:

a) Centrales hidráulicas

Estas centrales aprovechan la energía de una masa de agua situada en el cauce de un río o retenida en un embalse, convirtiéndola en energía eléctrica a través de un generador acoplado a una turbina. Se pueden distinguir tres tipos:

- Con agua embalsada, las cuales almacenan agua en un embalse de gran capacidad y producen electricidad en función de las expectativas sobre el valor futuro de dicha agua embalsada (precio esperado del mercado) y las precipitaciones futuras (aportes al embalse).

- Hidráulicas fluyentes, las cuales no disponen de grandes embalses (capacidad de almacenamiento muy limitada), dependiendo su producción básicamente del caudal de agua que reciben en cada momento.
- De bombeo, que consiguen la energía a base de *bompear agua desde un nivel situado por debajo de las turbinas hasta un embalse situado por encima de las mismas* (consumiendo electricidad para ello) para, con posterioridad, producir electricidad turbinando el agua previamente elevada. Generalmente bombean cuando el precio de la electricidad es bajo y generan (utilizan el agua embalsada) cuando el precio de la electricidad es elevado, obteniendo así un margen.

Las centrales con agua embalsada y de bombeo son generalmente muy flexibles (pueden incrementar / reducir su nivel de producción muy rápidamente). Por esto son técnicamente adecuadas para responder a variaciones de la demanda en el muy corto plazo.

La energía total que las centrales con agua embalsada y las fluyentes producen en un horizonte anual depende crucialmente de las reservas hidráulicas y de las precipitaciones.

Los costes fijos de todas estas tecnologías son elevados (máquinas complejas, obras hidráulicas y embalses) y *sus costes variables no son nulos*. Esto último es especialmente relevante en el caso de las centrales de bombeo, las cuales a) *deben comprar electricidad para bombear el agua* y b) *sufren una pérdida de rendimiento (la energía obtenida al turbinar es menor que la utilizada para bombear)*. Aunque los *ingresos unitarios de las centrales con agua embalsada y de bombeo son altos* (concentran su producción en las horas de precios elevados), *sus ingresos absolutos no lo son tanto*, ya que producen *un reducido número de horas a lo largo del año*. Esto, junto con sus elevados costes fijos (en el caso de las centrales con agua embalsada y de bombeo) y costes variables no nulos (en el caso del bombeo), hace que la rentabilidad realmente obtenida por estas tecnologías sea moderada (en la línea con la obtenida por otras tecnologías de producción).

b) Centrales nucleares

Esta tecnología se basa en la fisión (separación) de los núcleos de uranio. El calor obtenido de la misma se utiliza para producir vapor, el cual se turbinar para producir electricidad.

Las centrales nucleares no emiten ningún tipo de gas contaminante a la atmósfera, aunque sí generan residuos nucleares que deben ser albergados en depósitos aislados y controlados durante largo tiempo debido a su impacto radiactivo.

Las centrales nucleares tienen un régimen de funcionamiento muy rígido e inflexible – tardan días en arrancar y alcanzar el máximo nivel de generación. Así, su capacidad para variar su nivel de producción en el corto plazo es limitado.

Sus costes fijos son muy elevados y sus costes variables relativamente bajos. Las cada vez mayores exigencias de seguridad, así como el incremento de las inversiones para extender su vida útil, hacen que los costes fijos hayan crecido significativamente respecto a los existentes en el pasado.¹

No obstante, la *introducción de los derechos de emisión* (ver [El esquema cap-and-trade y los incentivos a reducir emisiones](#)) ha aumentado la competitividad de esta tecnología:

- Incremento de sus ingresos debido a la internalización del coste del CO₂ en el precio del mercado (ver [La internalización del precio de los derechos de emisión](#)).
- Sus costes no se ven afectados ya que esta tecnología no emite CO₂.

Así, la introducción de los derechos de emisión resulta en un incremento del beneficio esperado de las nucleares, lo que implica una mejora de su competitividad frente a otras tecnologías. Esta mejora de su competitividad *es coherente con el objetivo de reducción de emisiones* (incentivo a una tecnología sin emisiones).

En España, sin embargo, a las centrales nucleares se les está imponiendo a través de los RD-Ley 3/2006 y 11/2007 un coste asociado a las emisiones de CO₂ (ver [Derechos de emisión y windfall profits / windfall losses](#)), a pesar de ser éstas nulas, lo que elimina dicha mejora de competitividad.

¹ Ver [Tratamiento diferenciado de tecnologías](#).

c) Centrales térmicas convencionales (carbón, gas natural y fuelóleo)

Esta tecnología se basa en quemar algún tipo de *combustible fósil* para producir vapor, el cual es turbinado para producir electricidad. Los combustibles utilizados son básicamente tres – carbón, gas natural y fuelóleo.

Este tipo de centrales (muy especialmente las de carbón y fuelóleo) tienen un gran impacto ambiental debido a la emisión de gases contaminantes y partículas a la atmósfera. Para paliar en la medida de lo posible este efecto negativo sobre el medio ambiente, se están incorporando a las centrales diversos elementos y sistemas que permiten reducir dichas emisiones.

Las centrales de carbón pueden ser a su vez *de carbón importado o de carbón autóctono*. Aunque el carbón autóctono mejora del grado de autoabastecimiento energético nacional, el carbón importado tiene un coste normalmente inferior (el precio del carbón en los mercados internacionales está generalmente por debajo del coste de extracción del carbón autóctono), mayor poder calorífico y mejores cualidades medioambientales (menos emisiones y partículas por su combustión).

Las centrales de fuelóleo y las de gas natural son muy flexibles (modifican su nivel de producción con cierta rapidez), mientras que las de carbón son algo más rígidas.

d) Centrales térmicas de ciclo combinado

En estas centrales la energía térmica del gas natural es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos consecutivos –primero una turbina de gas y después una turbina de vapor.

Esta tecnología tiene una alta eficiencia (su rendimiento es muy superior al de una central térmica convencional) y es poco contaminante (sus emisiones por unidad producida son menores que las de las tecnologías térmicas convencionales y tienen tasas de emisiones de partículas muy reducidas).

Estas centrales son muy fiables (las tasas de fallo más bajas de todo el parque de generación) y flexibles (aunque condicionada por el contrato de acceso a la red de gas y por el contrato de compra del gas – existencia de potenciales restricciones). El principal inconveniente de esta tecnología es que depende de un combustible que proviene, en su mayor parte, de lugares del mundo con poca estabilidad política, lo que incrementa el riesgo de desabastecimiento y la volatilidad de sus precios.

e) Cogeneración

Las centrales de cogeneración son instalaciones en las que se obtiene de forma simultánea electricidad y energía térmica útil (calor o frío). En estas centrales, con tamaños desde unos pocos MW y grandes instalaciones (más de 50 MW), el vapor producido es a) turbinado para producir electricidad y b) extraído para suministrar calor. Esta tecnología reduce la emisión de contaminantes debido a que es menor la cantidad de combustible a utilizar (se necesitaría más combustible para generar electricidad y calor por separado).

f) Generación eólica

Las instalaciones de generación eólica producen energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento. Generalmente se agrupan en un mismo emplazamiento varios aerogeneradores, formando los llamados “parques eólicos” que pueden superar los 40-50 MW. Esta tecnología no produce ninguna emisión contaminante y no requiere de energías primarias suministradas desde mercados internacionales (favorecen el autoabastecimiento). No obstante, puede producir impacto visual y ofrecen una producción intermitente (dependen de la ocurrencia del viento).

g) Generación solar

Existen dos formas de aprovechar la energía solar para producir electricidad, (a) *tecnología solar térmica* (o *termosolar*, el calor procedente de la radiación del sol produce vapor, el cual es turbinado para producir electricidad), y (b) *tecnología solar fotovoltaica* (transforma directamente la energía solar en energía eléctrica mediante “células solares” basadas en materiales semiconductores que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar). La generación con estas

instalaciones (que pueden superar los 50 MW, en el caso de las unidades termosolares) no produce emisiones contaminantes. Sin embargo, su “densidad energética” (superficie necesaria por unidad de potencia) es actualmente muy baja y tienen costes de inversión relativamente elevados, aunque cada vez menores.

h) Biomasa

Estas centrales son similares a centrales térmicas convencionales, con la diferencia de que el combustible utilizado es de origen orgánico. Efectivamente, estas instalaciones, normalmente de pequeño tamaño (actualmente de 30-40 MW, en comparación con unos 1.000 MW de una unidad nuclear), aprovechan materias orgánicas de origen vegetal o animal (“biomasa”) procedentes de residuos (forestales, agrícolas, de transformación agropecuaria o de la madera, biodegradables, etc.) o de cultivos energéticos.

Tabla 1. Características de las principales tecnologías de generación en España

Tecnología	Costes de inversión ²	Costes fijos de explotación ³	Costes variables de generación en el corto plazo (1)	Régimen de funcionamiento (horas a plena potencia/año)	Seguridad de suministro y abastecimiento de combustible	Emisiones
Nuclear	Muy elevados	Elevados	Muy bajos (si está generando)	8.000	Seguridad elevada El combustible (uranio) puede ser escaso en el futuro.	No emiten (aunque genera residuos)
Hidráulica regulable	Muy elevados	Medios	Muy bajos	1.500-2.000	Depende de la hidráulicidad a medio y largo plazo.	No emiten
Hidráulica fluyente	Elevados	Medios	Muy bajos	1.500-2000	Depende de la hidráulicidad a corto plazo.	No emiten
Bombeo	Muy elevados	Medios	Muy altos	750-1.000	Muy elevada.	No emiten
Carbón	Moderados	Medios	Bajos o medios	5.000-8.000 (en función de la eficiencia y del coste del combustible)	Relativamente alta, debido a la abundancia del combustible.	Niveles altos de CO ₂ , SO ₂ , NO _x
Ciclo combinado	Moderados	Bajos	Medios o elevados (volátiles)	5.000-8.000 (en función del coste del combustible)	La disponibilidad es muy elevada, pero depende a medio y largo plazo del abastecimiento del gas.	Niveles moderados de CO ₂ y reducidos de SO ₂ , NO _x
Turbinas de gas de ciclo simple	Moderados/elevados	Medios	Muy elevados	1.000-3.000	Igual que los ciclos combinados.	Niveles moderados de CO ₂ y reducidos de SO ₂ , NO _x
Fuelóleo	Moderados	Medios	Muy elevados	500	Disponibilidad media.	Niveles altos de CO ₂ , SO ₂ , NO _x
Eólica	Elevados	Bajos	Casi nulos	2.100	La producción es intermitente en el corto plazo. A largo plazo, son una fuente segura de energía.	No emiten

(1) Es importante no confundir “costes variables” con “costes de oportunidad”. Los segundos son los que las empresas han de considerar a la hora de realizar sus ofertas al mercado (ver [Formación de precios en el mercado diario de la electricidad](#)).

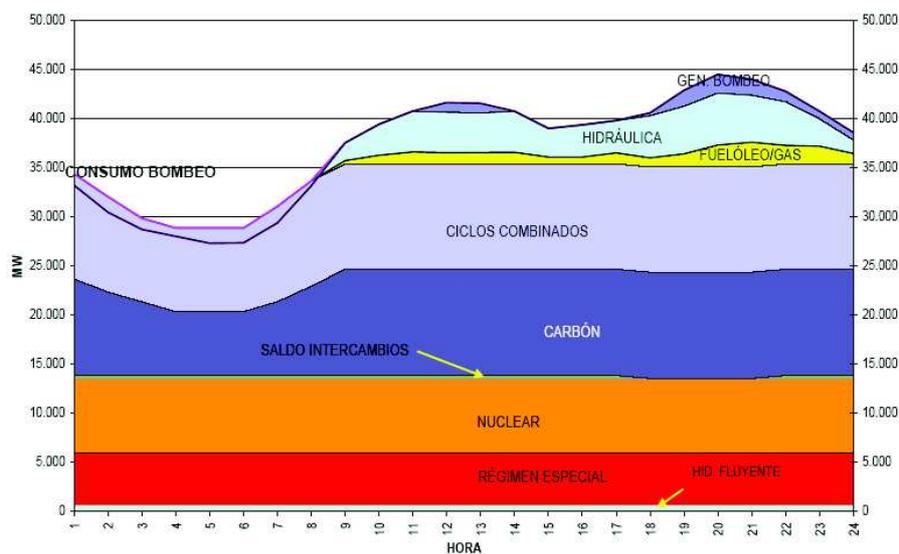
2 Los costes de inversión son los costes referidos a la adquisición de los equipos necesarios de generación y a la construcción de la central (costes de ingeniería y obra civil, etc.).

3 Los costes fijos de explotación incluyen costes de explotación que no dependen del nivel de producción, como la mayor parte de los salarios, los alquileres, tasas, una parte importante de los costes de mantenimiento de las instalaciones, etc.

CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

Desde el punto de vista económico, las tecnologías se caracterizan por sus *diferentes estructuras de costes* y por su *capacidad para adaptarse a las variaciones de la demanda con la suficiente rapidez*. Esto hace que sea eficiente que, en un mismo instante, estén produciendo varias tecnologías diferentes.

Figura 1. Cobertura de la curva de demanda horaria en un cierto día por las distintas tecnologías



Fuente: REE.

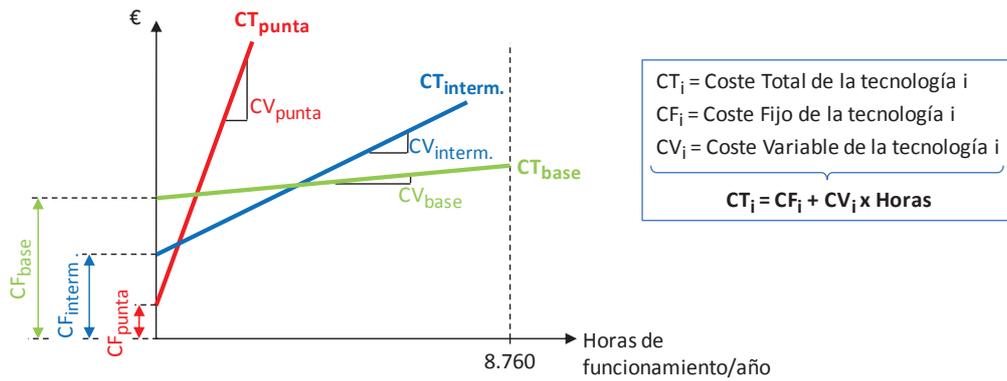
Pero, ¿por qué? Por un lado, por las diferentes *estructuras de costes* de cada tecnología (ver Tabla 1). Atendiendo a esta variable, las tecnologías se pueden clasificar en:

- Tecnologías de base (nucleares, algunas de las centrales de carbón y ciclos combinados existentes), con *costes fijos relativamente elevados y costes variables relativamente bajos*.
- Tecnologías de punta (centrales de fuelóleo, turbinas de gas), con *costes fijos bajos y costes variables altos*.
- Tecnologías intermedias (algunas centrales de carbón y ciclos combinados existentes, centrales hidráulicas regulables), con *costes fijos y variables intermedios* respecto a los de las centrales de base y punta.

Considerando que hubiera únicamente una tecnología correspondiente a cada una de las tres categorías anteriores, el *coste total de 1 MW de potencia instalada en función del número de horas de funcionamiento al año* de cada una de estas tres tecnologías se podría representar según la Figura 2.⁴

4 El contenido de esta sección se basa, en parte, en el artículo de O. Arnedillo "Modelos de Mercado Eléctrico. Paradigma Competitivo y Alternativas de Diseño", publicado en la revista Economía Industrial, número 364/2007, disponible en <http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/4B15716E-53AE-4D37-A33E-183A709FB843/0/39.pdf>.

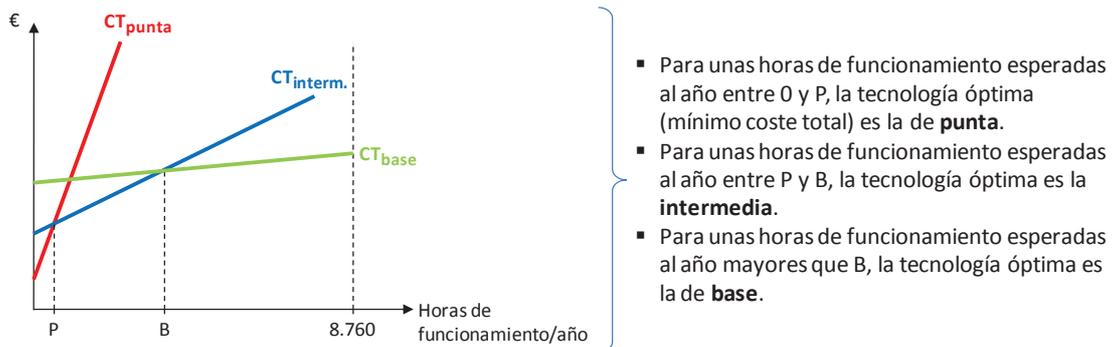
Figura 2. Coste total en función del número de horas de funcionamiento al año



Nota: el coste variable de una tecnología (CV_i) viene dado por la pendiente de su curva de coste total.
Fuente: elaboración propia

A la vista de estas curvas, resulta evidente que *cada tecnología es óptima (mínimo coste total) para un determinado número de horas de funcionamiento esperado al año* (ver Figura 2).

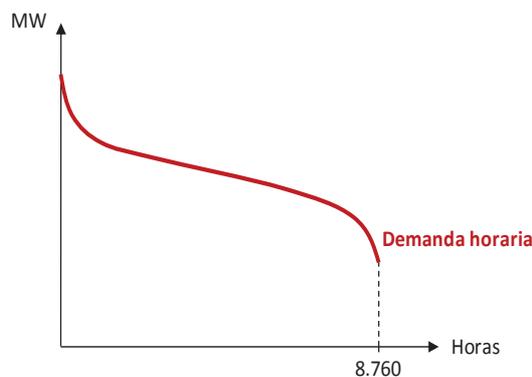
Figura 3. Tecnologías óptimas en función de las horas de funcionamiento al año



Fuente: elaboración propia

Atendiendo ahora la demanda, ésta se muestra muy volátil a lo largo de cada una de las horas del año, mostrando una diferencia muy significativa entre la hora de mínima y máxima demanda anual. Ordenando la demanda en cada hora del año de mayor a menor, resultaría una curva como la mostrada en la Figura 4, generalmente conocida como “curva monótona de demanda”.

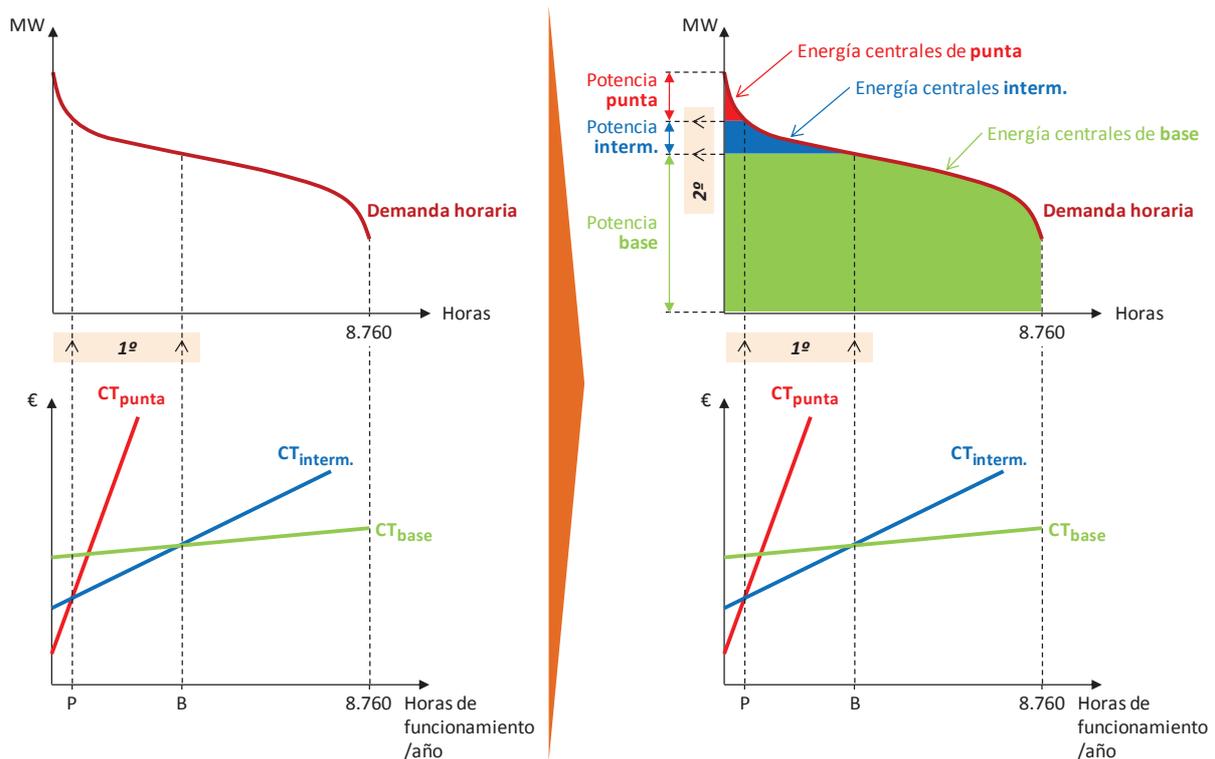
Figura 4. Curva monótona de demanda – demanda en cada hora del año ordenada de mayor a menor



Fuente: elaboración propia

Para cubrir esta demanda de forma óptima (al mínimo coste total) habría que utilizar cada una de las tecnologías óptimas para cada uno de los rangos de horas de funcionamiento anteriormente descritos. Cubriendo la demanda de acuerdo a este criterio resulta que cada tecnología funciona al año un número de horas dentro del cual la misma es óptima, es decir, es la tecnología de mínimo coste (ver 1º en la Figura 5). Así, resulta un parque de generación (potencia instalada de cada tipo de tecnología) que minimiza el coste total de la generación eléctrica (ver 2º en la Figura 5).

Figura 5. Cobertura de la curva monótona de demanda a mínimo coste y potencia instalada óptima de cada tipo de tecnología



Fuente: elaboración propia

Por tanto, se observa que para satisfacer la demanda de forma óptima (al mínimo coste) es necesario que en determinados instantes haya más de una tecnología generando electricidad. Asimismo, es importante resaltar que sólo si la demanda se satisface al mínimo coste será posible ofrecer a los consumidores los precios más bajos posibles.

Por último, es necesario considerar que en los momentos en los que la demanda varía de forma brusca (incrementándose o reduciéndose) no todas las tecnologías son capaces de variar su producción con la necesaria rapidez (recordar que, al no ser la electricidad un producto almacenable, la producción debe igualar a la demanda en todo momento). Así, esta restricción física hace que, en dichos momentos, parte de la demanda deba ser satisfecha por aquellas tecnologías con capacidad de “seguir” a la demanda, aunque éstas no sean las de menor coste. Este es otro factor que explica que en un mismo instante haya diferentes tecnologías generando electricidad.