

2

GENERACIÓN DISTRIBUIDA

2.1 INTRODUCCIÓN.

El concepto de Generación Distribuida (GD) ha surgido en los últimos años debido a la evolución que ha tenido el sistema eléctrico. Su definición se puede aproximar a la de generación de energía eléctrica a pequeña escala y próxima al consumidor.

No obstante, el empleo de este tipo de generación no es nuevo. Los primeros sistemas y redes eléctricas operaban con corriente continua, esto limitaba tanto la tensión de suministro como la distancia entre el generador y los puntos de consumo. Las centrales de generación solamente suministraban energía eléctrica a los clientes en las cercanías de la planta. Se utilizaban dispositivos de almacenamiento, como baterías, para conseguir un cierto equilibrio entre la producción y la demanda de energía eléctrica.

La aparición de la corriente alterna permitió transportar la energía eléctrica en alta tensión y a grandes distancias, lo que provocó un fuerte incremento en la potencia de generación. Los sistemas eléctricos evolucionaron de forma considerable, estaban formados por enormes centrales de generación y grandes redes de transporte y distribución con el fin de abaratar los costes de producción y distribución. El equilibrio entre la demanda y el suministro se realizaba mediante la combinación de grandes cantidades de consumo que variaban instantáneamente. Se aumentó la seguridad del suministro eléctrico ya que la interrupción de una central eléctrica se compensaba mediante otra central interconectada en el sistema. De hecho este sistema interconectado de alta tensión hizo posible la economía de escala en la generación de energía eléctrica.

En los años 70 la crisis del petróleo y los impactos medioambientales provocan la aparición de nuevos problemas que influyen de forma definitiva en el desarrollo de la industria energética. En los últimos 20 años, las innovaciones tecnológicas, el incremento de los costes de transporte y distribución, la economía cambiante, la

preocupación por el cambio climático y la publicación de normativa reguladora han dado como resultado un interés renovado por la GD [9, 90].

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) [84], enumera cinco factores que contribuyen a esta evolución:

- a) Desarrollo de tecnologías de GD.
- b) Restricciones en la instalación de nuevas líneas de transporte.
- c) Crecimiento de la demanda energética.
- d) Liberalización del mercado eléctrico.
- e) El cambio climático.

2.2 DEFINICIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

En las publicaciones existentes al respecto, las definiciones de GD guardan similitud pero no son únicas y difieren en algunos aspectos. Se han propuesto diversas definiciones, pero no existe una genérica y totalmente consensuada. Además, para el mismo tipo de generación se emplean diferentes términos, por ejemplo, generación incrustada, generación dispersa, generación descentralizada, etc.

A continuación se exponen algunas de las definiciones que se encuentran en la bibliografía consultada:

El Consejo Internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE) define la GD como todos los generadores con una capacidad máxima de entre 50 MW a 100 MW conectados al sistema eléctrico de distribución, y que no están diseñados ni despachados de forma centralizada [24]. Esto último, implica que la GD no forma parte del control del operador de la red eléctrica de transporte. Por tanto, no considera GD a los generadores instalados por las compañías eléctricas y que son despachados por el operador de la red eléctrica de transporte.

El Congreso y Exposición Internacional sobre Distribución de Energía Eléctrica (CIRED) [25], define la GD en base al nivel de tensión. Establece que la GD se conecta a circuitos desde los cuales se suministra directamente la energía demandada por los clientes. Asimismo, la GD posee algunas características básicas tales como la utilización de energías renovables, cogeneración, no ser despachada, etc.

Willis y Scott [164] definen la GD como los pequeños generadores con potencias comprendidas generalmente entre 15 kW y 10 MW, conectados a la red de distribución (de la empresa distribuidora o consumidores) o que están aislados de ésta. Distingue la Generación Dispersa como la compuesta por generadores más pequeños, de entre 10 y 250 kW.

Jenkins y col. [85] consideran GD aquella que no es planificada, despachada o programada centralmente, con potencia menor a 50 o 100 MW y conectada usualmente a la red de distribución.

Dondi y col. [39] definen la GD como una fuente pequeña de generación o de almacenamiento de energía eléctrica (normalmente en un rango que oscila entre potencias inferiores a 1 kW hasta decenas de MW) que no forma parte de un sistema eléctrico centralizado y que está localizada cerca de la carga. Incluyen dentro de la definición las instalaciones de almacenamiento.

Chambers [21] también define la GD como generadores relativamente pequeños de 30 MW o inferiores. Estos generadores están ubicados cerca de los clientes para hacer frente a sus necesidades específicas, para apoyar el funcionamiento económico de la red eléctrica de distribución, o ambos.

Con la excepción de la definición del CIGRE, todas suponen que los generadores distribuidos están conectados al sistema eléctrico de distribución. Este también es el caso de la definición empleada por la IEA [84], que ve la GD como

unidades que generan energía eléctrica en la red eléctrica de baja tensión o dentro de las compañías eléctrica locales de distribución. La IEA, sin embargo, no hace referencia a valores de generación a diferencia de las otras definiciones.

Es evidente que existen muchas definiciones de GD, que proporcionan un amplio rango de posibles ideas de qué es este tipo de generación. Algunas definiciones incluyen las unidades de cogeneración a gran escala o grandes parques eólicos conectados a la red de transporte, mientras que otras centran su atención en los generadores a pequeña escala conectados a la red eléctrica de distribución. Todas estas definiciones sugieren que al menos los generadores a pequeña escala conectados a la red eléctrica de distribución se consideren parte de la GD. Es más, los generadores instalados cerca de los consumos o en la red eléctrica de baja tensión con frecuencia se identifican como GD. Este último criterio prácticamente se superpone al primero, ya que muchos de los generadores conectados a la red de baja tensión también están conectados a la red eléctrica de distribución. Sin embargo, también se incluyen algunos generadores más grandes conectados a la red de transporte.

En lo que respecta a la potencia nominal de los generadores que se emplean en los de GD, el Instituto de Investigación en Energía Eléctrica (EPRI) define la GD como una generación desde “unos pocos kW hasta 50 MW” [43]. Según el Instituto de Investigación del Gas, la GD está “normalmente entre 25 W y 50 MW” [60]. Preston y Rastler definen la GD como el “rango desde unos pocos kW hasta más de 100 MW” [136], mientras que Cardell define la GD como la generación “entre 500 kW y 1 MW” [15] y, como se ha citado anteriormente, el CIGRE define la GD “inferior a 50–100 MW” [24].

Pero quizás la definición de GD más consensuada es la de Ackermann y colaboradores [1] que la definen atendiendo a una serie de aspectos:

- a) *Propósito de la GD.* La GD se concibe como una fuente de potencia eléctrica activa.

- b) *Ubicación*. Consideran GD a los sistemas situados en la red de distribución y/o en la red de baja tensión.
- c) *Tamaño de la instalación o potencia nominal*. Proponen la siguiente clasificación en función de la potencia nominal:
- *Micro GD*: $1 \text{ W} < \text{potencia} < 5 \text{ kW}$.
 - *Pequeña GD*: $5 \text{ kW} < \text{potencia} < 5 \text{ MW}$.
 - *Mediana GD*: $5 \text{ MW} < \text{potencia} < 50 \text{ MW}$.
 - *Gran GD*: $50 \text{ MW} < \text{potencia} < 300 \text{ MW}$.
- d) *Área de suministro*. La zona o área de suministro no se considera relevante para la definición de la GD. Tan solo el concepto Generación Distribuida Incrustada es muy apropiado para los sistemas GD destinados a abastecer redes eléctricas locales, aunque no obstante, el término GD Incrustada no aparece con frecuencia en la literatura existente.
- e) *Tecnología empleada*. La GD se suele vincular al tipo de tecnología empleada, como por ejemplo las energías renovables, aunque esto no debe ser relevante para su definición.
- f) *Impacto ambiental producido*. El impacto ambiental se suele asociar a la definición de GD, pero su medición y valoración resulta muy compleja, por ello, Ackermann no lo considera relevante.
- g) *Modo de funcionamiento*. Generalmente, los sistemas GD no están sometidos a las normas de funcionamiento de los sistemas centralizados [151]. Sin embargo, el modo de funcionamiento de la GD no se considera relevante para la definición propuesta, debido a la existencia de grandes discrepancias en las normas internacionales en este sentido.

- h) *Propiedad*. Los propietarios pueden ser empresas en general o las propias compañías productoras y/o distribuidoras de energía eléctrica. La propiedad no se considera relevante para la definición de GD.
- i) *Penetración de la GD*. El nivel de penetración de GD en una red eléctrica determinada es la relación entre la potencia instalada de Generación Distribuida y la potencia total de la red. Así:

$$\text{Penetración GD}(\%) = \frac{P_{GD}}{P_{TR}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Donde P_{GD} es la potencia activa del sistema GD y P_{TR} la potencia activa total de la red considerada.

El nivel de penetración no es relevante para la definición de GD. Se estima que puede alcanzar entre el 25 y 30 % de la generación total en los próximos años.

En base a todo lo anterior, Ackermann y col. [1] consideran la Generación Distribuida como una fuente de generación de energía eléctrica conectada directamente a la red eléctrica de distribución o en la red eléctrica de baja tensión. Por tanto, plantean la definición de GD básicamente en términos de conexión y localización, en lugar de la capacidad de generación y, además, no ponen límites sobre la tecnología o capacidad de la aplicación potencial de la GD.

La distinción entre redes eléctricas de distribución y de transporte se basa en una definición legal. En muchos mercados competitivos, la definición legal de la red eléctrica de transporte normalmente está integrada en las normas del mercado eléctrico. Aquella que no esté definida como red eléctrica de transporte de forma legal, se puede considerar red eléctrica de distribución.

Ackermann y col. no tienen en cuenta, en la definición de GD, la potencia nominal de la fuente de generación, ya que la máxima potencia depende de las condiciones de la red eléctrica de distribución. Sin embargo, este parámetro es útil para introducir categorías de GD.

Además, la definición de GD no contempla la zona de suministro de energía, la penetración, la propiedad, ni el tratamiento dentro del funcionamiento de la red eléctrica. No se puede suponer, aunque a menudo se hace, que la GD permite un reparto local de energía, una penetración baja en el sistema, una propiedad independiente y un tratamiento especial dentro del funcionamiento de la red eléctrica en general. Todos estos aspectos son interesantes considerarlos y deberían caracterizar la definición de GD de forma adicional.

Ackerman sugiere algunos términos adicionales para concretar la definición de GD como los siguientes:

- Generación Distribuida Incrustada: Cuando la GD se utiliza exclusivamente para una red de distribución local.
- Generación Distribuida no despachada centralmente: Cuando el sistema GD no está sometido a control ni despachado.

Por último, la legislación existente en el sector eléctrico contempla la regulación de sistemas de GD y proporciona indicadores que pueden afectar a la definición de GD.

En España, la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, introduce el concepto normativo de generación en régimen especial para las instalaciones que a continuación se detallan con una potencia instalada inferior a 50 MW [64]:

- a) Instalaciones que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad asociadas a actividades no eléctricas siempre que supongan un alto rendimiento energético.
- b) Cuando se utilice como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario.
- c) Cuando se utilicen como energía primaria residuos no renovables.

La Ley 54/1997 establece que la producción en régimen especial debe de tener un carácter retributivo y normativo distinto de aquellas centrales de generación con participación en el mercado mayorista (régimen ordinario). El concepto de generación en régimen especial se puede asociar al de Generación Distribuida.

El Real Decreto 2818/1998 [114], el Real Decreto 436/2004 [115] y, recientemente, el Real Decreto 661/2007 [116] son las principales publicaciones que han desarrollado y regulado lo inicialmente contemplado en la Ley 54/1997 para las actividades de producción de energía eléctrica en régimen especial. Además, la normativa actual establece la obligación para todas las instalaciones del régimen especial con potencia superior a 10 MW de estar adscritas a un centro de control de generación.

Lo comentado anteriormente, puede marcar unas pautas en la definición de GD según la normativa vigente en España:

- La Generación Distribuida se corresponde con instalaciones con potencia menor de 50 MW.
- La Generación Distribuida no Controlada se considera aquella de potencia menor o igual a 10 MW.

2.3 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

Hay distintos tipos de GD desde el punto de vista tecnológico y constructivo. A continuación se indican algunas de las diferentes tecnologías y sistemas que se emplean en las instalaciones de generación distribuida y que se pueden dividir en dos grupos:

Tecnologías tradicionales:

- Turbina de gas.
- Micro-turbina.
- Motores alternativos.

Tecnologías no tradicionales:

- Eólica.
- Mini-hidráulica.
- Solar térmica.
- Solar Fotovoltaica.
- Geotérmica.
- Mareomotriz.
- Pilas de combustible.
- Sistemas que aprovechan la biomasa como combustible mediante la gasificación.

Existen numerosas publicaciones y sitios en Internet de los que se puede obtener información diversa y detallada de todas estas tecnologías [3, 14, 17, 18, 29, 45, 46, 47, 50, 57, 71, 77, 89, 91, 106, 108, 131, 137, 138, 150, 158, 159]. La tabla 2.1 recoge las principales características técnicas de algunas tecnologías de GD.

Tabla 2.1: CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

	Información general	Rango de aplicación	Eficiencia de conversión de energía eléctrica	Aplicación	Combustible	Comentarios
Motor de combustión O alternativos		Diesel: 20 kW–10+MW Gas: 5 kW – 5 + MW Con gran diferencia, la tecnología más común por debajo de 1 MW	Gas: 28 – 42 % (IEA)	CHP	Gas, principalmente gas natural, biogás y también se puede utilizar gas de la degradación de residuos	
Turbinas de gas		1 – 20 MW (IEA)	21 – 40 % (IEA)	CHP Generadores de suministro en horas punta	Gas, queroseno	
Micro-turbinas		25 kW–200kW 35kW-1MW Aplicaciones a pequeña escala < 1 kW	25 – 30 % (IEA)	Generación de energía eléctrica y CHP	Generalmente utilizan gas natural, aunque también biogás y procedente de la degradación de residuos	
Pilas de combustible	Carbonato fundido: MCFC Membrana de intercambio protónica: PEMFC Óxido sólido: SOFC Ácido Fosfórico: PAFC Conversión directa de metanol: DMFC	50 kW– 1+MW (IEA) PAFC: 200kW–2MW MCFC: 250kW–2MW PEMFC: 1kW–250kW SOFC: 1kW–5MW	35 – 60 % (IEA) MCFC: ±50 – 55 % (IEA) PAFC: ±35% (IEA) PEMFC: ±35% (IEA) SOFC: ±50 – 55 % (IEA) Eficiencia de aplicaciones a pequeña escala: 25%	PEMFC: aplicaciones a baja temperatura en uso estacionario y portátil MCFC: elevada temperatura Mercado potencial en el sector de transporte SOFC: temperaturas elevadas Generación de energía eléctrica	Metanol Hidrógeno o gas natural Reformar CH ₄ a H ₂ da lugar a una eficiencia reducida	
Fotovoltaica	No genera energía calorífica	1-kW (IEA) 20+kW (A) Es posible más potencia con más módulos	No aplicable	Aplicaciones comerciales pequeñas y domésticas Aplicaciones fuera del sistema	Sol	Energía generada no previsible; capacidad de 10 – 15 % en el oeste de Europa
Eólica	En tierra	200 W – 3MW (A)	No aplicable	Aplicaciones a pequeña escala	Aire	Energía generada no previsible; capacidad en tierra de 20 – 25 %
Otras renovables	Solar térmica, geotérmica, mareomotriz, etc		No aplicable			

Tabla construida en base a la información consultada en Ackermann y col. [1] (A) y IEA [84].

Los aspectos más importantes que caracterizan a este tipo de generación eléctrica son los siguientes:

a) Utilización de fuentes de energía renovables. La energía renovable se define como inagotable, tales como el calor y la luz del Sol, la fuerza del viento, la materia orgánica (biomasa), las corrientes de agua, la energía de los mares y océanos y el calor geotérmico [83]. Debido a que la energía que se consume principalmente en nuestro planeta es de carácter fósil, el uso de energías renovables en sistemas de generación eléctrica cobra especial importancia, ya que, especialmente, provoca una reducción de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

b) Sistemas modulares. La mayoría de los sistemas de GD son modulares, lo que permite una serie de ventajas como la simplicidad en la instalación y montaje, la flexibilidad en el funcionamiento, ofrece facilidades en el mantenimiento y la reparación, etc. [69, 70, 79, 80].

c) Producción por cogeneración. Las turbinas de gas, los motores de combustión interna, sistemas que utilizan la gasificación de la biomasa, así como las pilas de combustible, son apropiados para la producción simultánea de calor y electricidad (CHP).

2.3.1 Aprovechamiento de la biomasa

Todos los sistemas que necesitan de un combustible para su funcionamiento, como las microturbinas, motores alternativos, pilas de combustible, etc., se pueden convertir en sistemas renovables de GD utilizando la biomasa como combustible.

La biomasa se define como el conjunto de materiales con origen biológico próximo que son susceptibles de ser utilizados para otros fines distintos a los

alimentarios. Quedan excluidos los combustibles fósiles que aunque derivan de materiales biológicos, han sufrido profundas transformaciones que han alterado su naturaleza.

La biomasa constituye un recurso energético renovable y sus componentes son fundamentalmente carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. La energía que puede obtenerse de la biomasa no es sino una manifestación de energía solar que, mediante el proceso de fotosíntesis, ha sido captada y transformada en energía de enlace químico.

Los recursos biomásicos, tal y como se obtienen en origen, no suelen presentar las características adecuadas para su aplicación energética directa, por lo que han de someterse a procesos intermedios de adecuación para su posterior conversión en energía aprovechable.

La biomasa se prevé que jugará en los próximos años un papel muy notable como fuente energética, que se verá reforzado por la importante contribución que la utilización de este recurso puede aportar a la política medioambiental, en la reducción de emisiones de CO₂ y de gases invernadero en general. Igualmente, se estima que influirá positivamente en la promoción y mejora de las condiciones de vida en zonas rurales y en los países en vías de desarrollo, en muchos de los cuales la abundancia de recursos naturales hace factible una utilización ordenada de la biomasa para cubrir de una forma significativa su cada vez más creciente demanda energética.

2.4 APLICACIONES DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Las aplicaciones más comunes de la Generación Distribuida son las siguientes:

- **Generación básica:** la mayoría de los sistemas de GD, y especialmente los que son propiedad de las compañías eléctricas, normalmente se utilizan como generación básica para suministrar parte de la energía eléctrica necesaria y

apoyar a la red eléctrica mediante el aumento del nivel de tensión del sistema eléctrico. Así se reducen las pérdidas de potencia y se mejora la calidad de la energía eléctrica del sistema.

- ***Demanda en horas punta:*** el coste de la energía eléctrica varía según la demanda de consumo y la generación disponible en un momento determinado. La GD puede suministrar energía en horas punta, reduciendo el coste de la energía eléctrica demandada por los grandes clientes industriales.
- ***Reserva:*** la GD se puede utilizar como reserva para suministrar la energía eléctrica necesaria a las cargas variables, tales como industrias de procesos y hospitales, durante las interrupciones de suministro de la red eléctrica.
- ***Aisladas en zonas rurales o de difícil acceso:*** normalmente, las zonas aisladas utilizan la GD como suministro de energía en lugar de conectarse a la red de distribución. Estas zonas tienen impedimentos técnicos y económicos por la distancia que las separa de la red. La GD puede hacer frente a la demanda energética de estas instalaciones. Sus aplicaciones incluyen la iluminación, calefacción, comunicación, pequeños procesos industriales, etc.
- ***Sistemas CHP:*** las tecnologías de GD proporcionan sistemas CHP, ya que una unidad de cogeneración tiene una elevada eficiencia global de utilización de energía. El calor producido, del proceso de conversión de combustible en energía eléctrica, se utiliza in situ para un extenso rango de aplicaciones en hospitales, zonas residenciales, grandes superficies comerciales y procesos industriales.

La tabla 2.2 compara algunos tipos de sistemas de GD en función de sus aplicaciones:

Tabla 2.2: COMPARACIÓN ENTRE TIPOS DE GD EN FUNCIÓN DE SUS APLICACIONES.

Tipo de GD	Aplicaciones principales
Micro-turbinas	Se utilizan para cualquier tipo de generación: básica, demanda de horas punta, cogeneración, etc. [33].
Pilas de combustible	Las grandes plantas son adecuadas para aplicaciones de generación básica. También son apropiadas para proporcionar CHP. Disponibles desde el punto de vista comercial en pequeñas unidades y conectadas en forma modular para suministrar consumos elevados [33].
Fotovoltaica	Generación básica y autónoma en algunas aplicaciones rurales si se combina con baterías. Suministro de mantenimiento para las telecomunicaciones, iluminación exterior y señalización.
Aerogeneradores	Generación básica. En pequeña escala para suministro de viviendas alejadas, granjas y aplicaciones en la industria de procesos.
Máquinas de combustión interna	Muchas de ellas se utilizan para la demanda en horas punta y operaciones de apoyo (para objetivos de fiabilidad) no para un funcionamiento continuo [33].

2.5 DURACIÓN DEL SUMINISTRO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y TIPO DE ENERGÍA GENERADA

La duración del suministro de la GD varía considerablemente según su tamaño, tipos y aplicación utilizada. El suministro puede realizarse durante un periodo prolongado en aplicaciones con un consumo base de valor constante, un suministro inestable generado por los recursos renovables y un periodo corto de suministro que se utiliza para apoyar el suministro de la red eléctrica. Se puede realizar una comparación según la cantidad de energía eléctrica suministrada, su duración y el tipo de energía tal y como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE GD SEGÚN LA ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA Y LA DURACIÓN DEL SUMINISTRO.

Periodo de suministro de energía eléctrica	Tipo de GD	Observaciones
Periodo prolongado de suministro	Turbinas de gas y Pilas de combustible	Las turbinas de gas suministran P y Q. Las pilas de combustible suministran solamente P. Se emplean como suministradores de consumo base.
Suministro inestable	Sistemas de energía renovable (sistemas eólicos y fotovoltaicos)	Dependen de las condiciones atmosféricas. Suministran P solamente y necesitan una fuente de Q en el sistema eléctrico. Se utilizan en lugares alejados. Necesitan controlar su funcionamiento en algunas aplicaciones.
Periodo corto de suministro	Baterías, sistemas fotovoltaicos aislados	Almacenan energía para utilizarla en momentos necesarios durante un periodo corto de tiempo.

La energía eléctrica generada puede ser continua o alterna. Las pilas de combustible, los módulos fotovoltaicos y las baterías generan corriente continua, que es adecuada para las cargas en corriente continua. Sin embargo, se puede convertir en corriente alterna mediante inversores conectados entre el dispositivo de GD y la red eléctrica o carga. Otros tipos de GD como las micro-turbinas y los aerogeneradores suministran corriente alterna de forma directa.

2.6 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

El empleo de GD en el sistema eléctrico presenta numerosos beneficios. Éstos se pueden clasificar en dos grupos, los beneficios técnicos y los económicos:

1) Técnicos:

- La GD puede reducir las pérdidas de energía eléctrica tanto en las redes de distribución como de transporte. La adecuada ubicación de los sistemas de GD reduce el flujo de potencia que conlleva la disminución de las pérdidas energéticas y la mejora del perfil de tensiones [10, 26, 99].
- La reducción de las pérdidas en el transporte y distribución de energía eléctrica aumenta la capacidad de distribución de la red eléctrica [10].
- La GD puede aumentar la calidad de la onda eléctrica mediante su conveniente localización y las características de la energía inyectada a la red [23].
- El uso de sistemas de GD renovables reduce la emisión de contaminantes a la atmósfera. No obstante, cualquier sistema de GD puede influir en la emisión de contaminantes debido a la reducción de pérdidas energéticas que ocasiona [23].
- La GD puede ayudar en la demanda en horas punta y en los programas de gestión del consumo, Igualmente, puede ayudar en la fiabilidad y continuidad del sistema, ya que la implantación de GD conlleva muchos lugares de generación y no solamente una gran generación centralizada [4].

- La GD interviene en la estabilidad del sistema, ya que se puede utilizar como suministro de reserva de la energía necesaria [167].
- Los sistemas de GD proporcionan flexibilidad dentro del sistema eléctrico de distribución, debido a la variabilidad de su tamaño y localización [153].
- Los sistemas de GD son modulares. Esto implica una instalación sencilla y en un corto período de tiempo. Además, proporciona una gran ventaja en el funcionamiento y en el mantenimiento del sistema, así como, en la flexibilidad de su capacidad total aumentando o disminuyendo el número de módulos [69, 70, 79, 80].

2) *Económicos:*

- Reducción de las inversiones en infraestructura eléctrica. La GD puede suministrar los aumentos de carga local necesarios instalándolas en localizaciones determinadas, por lo que pueden reducir o evitar la construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, mejorar los sistemas eléctricos existentes y reducir la capacidad de los sistemas de transporte y distribución durante la etapa de planificación [10, 44, 167]. Instalando GD se reduce la construcción de centrales eléctricas convencionales.
- Disminución de los costes de operación y mantenimiento. La GD aumenta la vida de los transformadores y de los equipos del sistema de transporte y distribución, y facilita el ahorro de combustible [23].
- Reducción de los costes de combustible debido a la mejora de la eficiencia. La GD con CHP puede ser más económica [39]. Utilizando el

calor residual para calefacción, para refrigeración o para aumentar su eficiencia mediante la generación de más energía eléctrica.

- La GD se puede acoplar gradualmente al sistema y suministrar la demanda exacta que necesite el cliente.
- Incremento de la seguridad y fiabilidad para las cargas críticas [23]. Este beneficio está directamente relacionado con el aumento de la calidad de la onda eléctrica.
- Según las diferentes tecnologías de GD, los tipos de recursos energéticos y combustibles utilizados están diversificados. Por lo tanto, no hay más interés por un cierto tipo de combustible que por otro [153].

Pero no todo son beneficios, la inadecuada planificación, diseño y ubicación de la conexión a la red de sistemas GD puede provocar problemas, tales como el aumento de las pérdidas en el sistema que provoca mayores costes de explotación de la red para la empresa distribuidora, la propagación de armónicos y otros tipos de perturbaciones, la aparición de huecos de tensión, sobretensiones, el funcionamiento en isla de sectores de la red, efectos contrarios sobre el comportamiento inicialmente previsto en los flujos de potencia, etc. [23, 39].

Para evitar algunos de estos problemas y obtener el máximo de beneficios técnicos y económicos de la GD se requiere previamente un estudio, planificación y gestión adecuadas, tener en cuenta las características específicas de los sistemas GD a utilizar, el porcentaje de penetración en la potencia de la red, la tecnología y topologías a emplear, así como determinar el tamaño y ubicación óptimos [10] dependiente de varios factores.

En el caso de una planta de generación que utiliza la biomasa como combustible, también se deben de considerar para su ubicación y dimensionado otros aspectos no

eléctricos como la distancia y gastos de transporte de la biomasa, las infraestructuras, accesos y comunicaciones, la densidad de obtención de la biomasa, sus costes de laboreo y extracción, tipos y características de la biomasa de la zona, etc.

2.7 NECESIDAD DE LA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Uno de los principales objetivos de la Ingeniería Eléctrica con los sistemas de Generación Distribuida es su optimización, tanto de su tamaño y ubicación, como de su configuración y condiciones de funcionamiento. Para optimizar el tamaño y la localización se recurre a funciones técnicas y económicas dependientes, de forma directa, del tipo y funcionamiento del sistema GD y de restricciones técnicas.

El análisis no es sencillo y depende del punto de vista que se tenga en cuenta para su estudio. Así, para el inversor o propietario de la planta GD, que busca la máxima rentabilidad, el objetivo es vender la máxima cantidad de energía al mínimo coste. Para la empresa distribuidora de energía eléctrica, comprometida con la calidad del producto, el enfoque será garantizar el suministro energético al mínimo coste y la reducción de las pérdidas de energía que se producen en el transporte y distribución. Por tanto, el problema de la optimización se podría plantear bajo dos puntos de vista:

a) Punto de vista de la empresa distribuidora:

La mayoría de los beneficios técnicos y económicos descritos en el apartado 2.6 suponen la mejora de la calidad del suministro y la reducción de los costes de explotación de la red de distribución y la disminución de las inversiones en infraestructuras.

Los costes más importantes que se tienen que minimizar son los ocasionados por las pérdidas de energía eléctrica en la red de distribución, manteniendo parámetros de calidad de suministro y seguridad en unos márgenes aceptables y reglamentarios [90].

b) Punto de vista del inversor (empresa productora de energía):

Las funciones a maximizar serían las procedentes de un análisis económico, tales como, el valor actual neto, el índice de rentabilidad, o simplemente, la evaluación de los costes o beneficios anuales. Se tendrían en cuenta la inversión necesaria y/o la amortización anual, los costes del combustible (en el caso de biomasa, compra, extracción, tratamiento, transporte, etc.), los costes de funcionamiento y mantenimiento, los ingresos obtenidos por la venta de la energía producida, etc. [53].