



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTROENERGÉTICA.**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

## **Generación distribuida**

**Autor: Horeb González Chaviano**

**E-mail: [horeb@fie.uclv.edu.cu](mailto:horeb@fie.uclv.edu.cu)**

**Tutor: Dr. Leonardo Casas Fernández**

**Dtor. Centro de Estudios Electroenergéticos**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica. UCLV**

**E-mail: [lcasas@fie.uclv.edu.cu](mailto:lcasas@fie.uclv.edu.cu)**

**Santa Clara**

**2004**

**“Año del 45 Aniversario del Triunfo de la Revolución”**



## **Resumen**

Los problemas de las fuentes de energía dedicadas a la generación de energía eléctrica están siendo revisados de acuerdo a las nuevas posibilidades que la tecnología está poniendo a disposición de esta vital actividad. En este trabajo se hace una valoración de las tendencias y posibilidades de la generación distribuida.

En el primer capítulo, se habla de manera general sobre la energía y todos los problemas ligados a ella, debido a que su principal fuente de suministro, proviene de los combustibles fósiles, comentándose de esta forma los daños que provoca el uso indiscriminado de estos recursos energéticos. Las fuentes de energía renovables y su reducido impacto al medioambiente es otro de los temas tratados en este primer capítulo. En el segundo capítulo se trata todo lo referente a las fuentes de energía renovables: sus ventajas, desventajas, tendencias y aplicaciones. Por último el capítulo tercero se dedica a explicar las cuestiones relacionadas a la generación distribuida y sus posibilidades en los próximos años, tanto a nivel mundial como en nuestro país.

## INDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1.....	3
Capítulo 2.....	15
Capítulo 3.....	45
Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	52
Bibliografía.....	53

## **Introducción**

Desde el surgimiento de las primeras civilizaciones, la energía ha jugado un papel protagónico en todo momento para el desarrollo de la sociedad y para la subsistencia misma del hombre. Cómo obtener la energía, siempre ha sido motivo de preocupación en todas las épocas, ya que de ella dependen todas las actividades que se han realizado diariamente. La moderna sociedad sería incapaz de sobrevivir si le faltara el suministro energético actual.

Las principales fuentes de energía de las cuales se beneficia el hombre son los combustibles fósiles, entre los cuales se encuentran el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles han sido nuestro soporte energético por muchos años, conjuntamente con los de origen nuclear.

Actualmente más del 80 % de la energía producida en el mundo se obtiene de estos recursos energéticos los cuales se conocen como fuentes de energía no renovables; esto significa que son recursos que tardaron millones de años para formarse y que en estos momentos son consumidos con una rapidez tal, que es imposible que se puedan renovar. El uso indiscriminado de estos recursos ha provocado efectos perjudiciales para el medioambiente y el hombre. Las lluvias ácidas, el efecto invernadero y el calentamiento global son algunos de los fenómenos que en estos momentos amenazan con destruir la Tierra debido al mal uso que se hace de las fuentes de energía disponibles. Otro de los problemas cruciales está relacionado con la duración de estas fuentes no renovables, pudiendo incluso, en un futuro no muy lejano, crearse una verdadera crisis ante el agotamiento total de estos combustibles.

El Sol, el viento, las corrientes de ríos y mares, el calor proveniente del interior de la tierra y los desechos orgánicos (biomasa) serán la solución a todos los problemas planteados anteriormente. Estos recursos brindan energía limpia, inagotable y respetuosa con el medioambiente. A estos recursos se les conoce como fuentes de energía renovables.

Desde tiempos remotos el hombre hizo uso de estas fuentes en sus molinos de viento e hidráulicos para moler sus granos y el bombeo de agua. En nuestros tiempos y gracias al gran desarrollo tecnológico alcanzado, los ingenieros han implementado nuevas formas de producir energía eléctrica aplicando e intercalando, junto con las fuentes tradicionales, las fuentes de energía renovables.

La generación distribuida es una nueva forma de enfocar un problema viejo: el uso de pequeñas plantas al que tiende la producción de energía eléctrica. Esta forma de enfocar el problema, permite reducir las pérdidas por transmisión y distribución de la energía eléctrica, aumentar la fiabilidad, mejorar la calidad de la energía, así como utilizar las fuentes renovables, con lo que es posible dar solución, en gran medida, a todos los problemas causados por las fuentes no renovables usadas de la forma tradicional, además, será la solución al problema energético del futuro.

Para la realización de este trabajo se hizo una revisión bibliográfica sobre el tema de la energía de forma general. Se realizó, igualmente un estudio más detallado sobre las tendencias en el mundo en cuanto a cómo producir la energía de manera que su impacto para el medioambiente sea el menor posible, haciendo énfasis en el uso de las fuentes de energía renovables como solución a estos problemas, lo que ha sido posible gracias a la implementación de tecnologías como la generación distribuida. Este es un tema de gran actualidad debido a la importancia que tiene el uso de las fuentes renovables en estos momentos. El estudio fue realizado mediante una búsqueda bibliográfica en Internet y revistas especializadas en el tema.

El aporte fundamental de este trabajo consiste en mostrar las ventajas de las fuentes de energía renovables cuando estas son integradas a los Sistemas Eléctricos por medio de la generación distribuida.

## **CAPÍTULO 1. LA ENERGÍA**

### **1.1 Introducción**

En este capítulo se trata de manera muy general el tema de la energía y todos los problemas ligados con el uso indiscriminado de las actuales fuentes energéticas, las cuales provienen principalmente de los combustibles fósiles. También se da una panorámica sobre las energías renovables como solución para ayudar en gran medida a satisfacer las demandas energéticas de nuestra sociedad y además como única forma para mantener libre de contaminación nuestro medioambiente. Por último y de forma breve, se habla de la generación distribuida como un concepto en el cual se mezclan viejas ideas con nuevas tecnologías a partir de las energías renovables y no renovables, para generar electricidad de una manera más limpia, donde no es necesario el uso de enormes extensiones de terreno para la construcción de grandes centrales eléctricas; se comentan además, muchas otras ventajas que este tipo de tecnología nos brinda.

### **1.2 La energía**

La energía juega un papel fundamental para los seres humanos y la vida de forma general. Ha hecho posible la realización de eventos tan importantes como la formación del universo y a otros no menos trascendentales. Podemos decir sin temor a equivocarnos que ella es la fuerza vital de nuestra sociedad. Para el hombre, la energía es uno de los principales factores para atender sus necesidades básicas y un indicador del grado de bienestar; para los países es el motor hacia el desarrollo.

Energía, es un concepto esencial en las ciencias que desde un punto de vista material se hace complejo de definir. La más básica de sus definiciones indica que energía es la capacidad que poseen los cuerpos para producir trabajo. Esto nos da la idea de que el trabajo realizado por determinado cuerpo, es una medida de la cantidad de energía que este almacenaba. La realidad del mundo físico demuestra que la energía, siendo única, puede presentarse bajo diversas formas las cuales son capaces de transformarse unas a otras.

Entre las formas de energía más comunes y conocidas por nosotros se encuentran las siguientes: energía mecánica, relacionada con los cuerpos en movimiento; energía

electromagnética, relacionada con los campos eléctricos y magnéticos originados por la presencia de cargas eléctricas estáticas y en movimiento; energía térmica, relacionada con la energía interna de los cuerpos, la cual se manifiesta externamente en forma de calor, al circular entre dos cuerpos cualesquiera producto de diferencias de temperatura existente entre ambos; energía química, es la energía que poseen los compuestos, esta se pone de manifiesto en el proceso de conversión generado por una reacción química; energía metabólica, relacionada con los procesos químicos de oxidación que ocurren en los organismos vivos producto de los alimentos que estos ingieren. [12]

En los inicios el hombre hizo uso del fuego mediante la quema de la madera y también se benefició de la tracción producida por la fuerza de los animales, principales fuentes energéticas conocidas por él hasta el momento. Posteriormente, con el desarrollo de la civilización, se creció la capacidad creadora del intelecto humano, dando esto origen a inventos tales como: la rueda, la cual proporcionaba un gran ahorro de energía, y las velas, tan importantes para la navegación en épocas pasadas y muy utilizadas actualmente en embarcaciones de tipo competitivas. Otro de los ingenios creados por el hombre con el fin de obtener energía, fueron primitivas máquinas como los molinos de viento y la rueda hidráulica que fueron ampliamente utilizadas por el hombre para moler cereales y granos, en las cuales se aprovechaba la energía del viento y el agua. Estas máquinas también encontraron su aplicación en la minería, las que eran utilizadas para moler el mineral de hierro en las antiguas ferrerías. [12]

Fue la gran Revolución Industrial del siglo XVIII la que hizo posible que surgiera la máquina de vapor en el año 1782. Desde entonces el gran desarrollo de la industria y la tecnología han cambiado drásticamente las fuentes de energía que mueven la sociedad moderna.

En nuestros tiempos, el desarrollo de cualquier país está ligado a un creciente consumo de energía, principalmente a partir de los combustibles fósiles. Sin embargo, este fenómeno está creando grandes problemas a la humanidad; problemas de tipo medioambiental que ponen en peligro al planeta como un todo.

### 1.3 Fuentes convencionales y el problema de la energía

El uso de la energía en cualquiera de sus manifestaciones es vital para el hombre. Sin energía la sociedad sería incapaz de sobrevivir. De ella dependen la iluminación de interiores y exteriores, la preparación y conservación de alimentos y medicinas, el transporte de personas y mercancías, el funcionamiento de las fábricas y otros importantes aspectos de la vida, normales e imprescindibles para la sociedad moderna.

Desde la prehistoria, cuando la humanidad descubrió el fuego para calentarse y asar los alimentos, pasando por la Edades Antiguas y Media, en la que construía molinos de viento para triturar el trigo, hasta la época moderna en la que es capaz de obtener energía eléctrica rompiendo el átomo, el hombre ha buscado incesantemente fuentes de energía de las que pueda obtener algún provecho. Desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, las principales fuentes de energía explotadas han sido los combustibles fósiles. Por un lado el carbón para alimentar las máquinas de vapor industriales y de tracción ferrocarril así como los hogares; por otro lado se encuentran el petróleo, el gas y sus derivados, los que encuentran su máxima demanda en la industria y el transporte, donde juega un papel fundamental el automóvil.[7]

Los combustibles fósiles han sido los grandes protagonistas del impulso industrial desde la invención de la máquina de vapor hasta nuestros días. De ellos, como ya se dijo, depende la mayor parte de la industria y el transporte en la actualidad. Entre los tres suponen casi el 90% de la energía comercial empleada en el mundo, como puede observarse en la figura 1.1

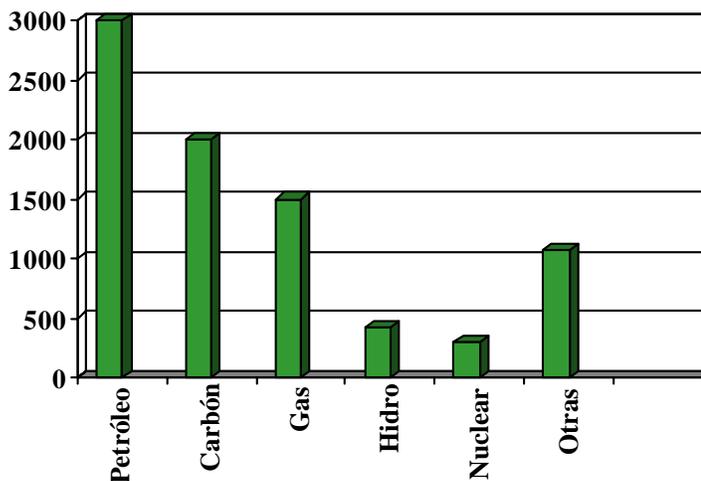
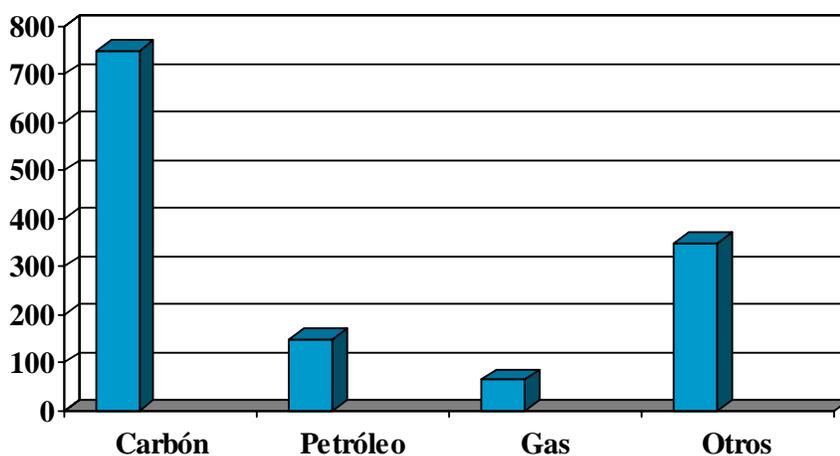


Figura 1.1 Consumo mundial de energía (8 300 millones de Tep/año).

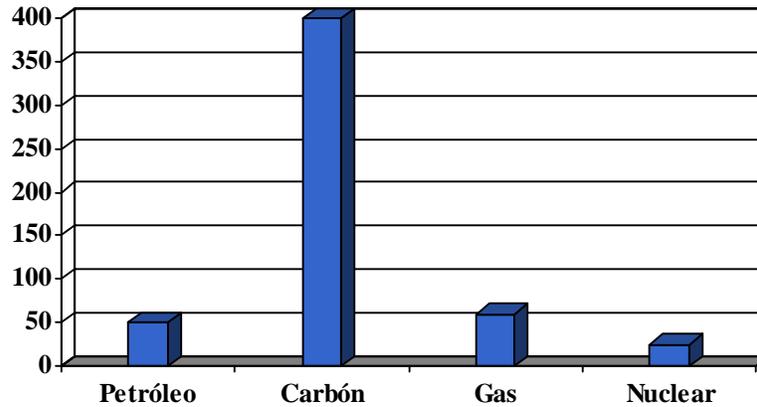
Se consideran como combustibles fósiles, al carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles están constituidos por restos de organismos que vivieron hace millones de años y son mezclas de compuestos orgánicos que se extraen del subsuelo con el fin de producir energía. [7]

La energía se obtiene al quemar estos combustibles, lo que se conoce como combustión, proceso en el que se forman grandes cantidades de anhídrido carbónico y otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera; como es de suponer, se crean de esta manera serios daños al medioambiente. [17]

Estos combustibles han permitido un avance sin precedentes en la historia de la humanidad, pero son fuentes de energía que se denominan no renovables, lo que significa que estos combustibles, que han tardado en formarse miles de años, se consumen en pocos minutos. Esto trae como consecuencia que las reservas mundiales de los mismos, figura 1.2, disminuyan a un ritmo creciente, según se muestra en la figura 1.3; además, estamos agotando un recurso del que se pueden obtener productos muy valiosos como son los plásticos, medicinas, etc. Sin embargo, la fuente principal de energía de la cual se beneficia el hombre, se obtiene a partir de los combustibles fósiles. [33]



**Figura 1.2 Reservas mundiales de energía (en miles de millones de Tep).**



**Figura 1.3 Duración de los combustibles fósiles (años).**

El uso continuado de estos combustibles durante los dos últimos siglos, ha creado tan profundas dependencias estructurales en la sociedad actual que, al menos en gran parte del siglo que corre, su presencia continuará siendo preponderante en el abanico de opciones de abastecimiento energético. En la actualidad, se estima que más del 80 % de la producción mundial de energía se produce gracias a la combustión del petróleo, carbón y gas. Este fenómeno, ha creado una gran inquietud social que se manifiesta de manera creciente en todo el planeta, debido a las repercusiones medioambientales que trae consigo la utilización a gran escala de los combustibles fósiles. [33]

La contaminación atmosférica, las lluvias ácidas, el calentamiento global y el efecto invernadero son fenómenos altamente perjudiciales para el medio ambiente y el hombre, y en gran parte se deben al empleo de manera exagerada e irracional de los combustibles fósiles. Al mismo tiempo, ha surgido también gran preocupación por la aparición de espacios contaminados debido a actividades industriales, las cuales han ido en aumento durante las últimas décadas, en particular, industrias y actividades ligadas al uso de los combustibles fósiles como las refinerías, gasolineras, cuencas mineras, etc, que son responsables en gran medida del actual estado de contaminación de suelos en algunas zonas, principalmente en las regiones con mayor actividad industrial. [37]

Otra forma de energía del mundo moderno lo constituye la energía nuclear. Las centrales nucleares utilizan combustibles que a pesar de no tener un origen fósil, su explotación, también repercute de forma negativa para el medioambiente y el hombre. El principal problema que presenta la energía nuclear está relacionado con la contaminación radiactiva.

En una central nuclear que funciona correctamente, la liberación de radiactividad es mínima y perfectamente tolerable ya que entra en los márgenes de radiación natural que habitualmente hay en la biosfera. [51]

El problema surge cuando han ocurren accidentes en alguna de las más de 400 centrales nucleares que hay actualmente en funcionamiento. La probabilidad de que ocurran estos accidentes es muy baja, pero cuando suceden, sus consecuencias son muy graves, debido a que los niveles de radiactividad emitidos a la atmósfera son muy grandes y producen graves daños, prueba de ello son los dos mayores accidentes ocurridos: el de Three Miles Island en Estados Unidos y el de Chernobyl en la antigua URSS. [51]

Actualmente con los adelantos tecnológicos y la experiencia en el uso de las centrales nucleares, la seguridad es cada vez mayor, pero un problema de muy difícil solución permanece; se trata del almacenamiento a largo plazo de los residuos radiactivos que se generan en las centrales nucleares, bien sea durante su funcionamiento habitual o en el desmantelamiento de estas, cuando la central ya ha cumplido su ciclo de vida y debe ser cerrada. Además, las reservas de combustibles nucleares son reducidas, se estima que las mismas duren unos 25 años aproximadamente, por lo que presentan una situación más desfavorable que los combustibles de origen fósil. [51]

Entre las ventajas que los defensores de la energía nuclear le encuentran a esta forma de generación es que es mucho menos contaminante que los combustibles fósiles. Comparativamente las centrales nucleares emiten muy pocos contaminantes a la atmósfera. Los que se oponen a la energía nuclear argumentan que el hecho de que el carbón y en menor medida el petróleo y el gas, sean sucios, no es un dato a favor de las centrales nucleares. Hay que lograr que se disminuyan las emisiones procedentes de las centrales que usan carbón y otros combustibles fósiles, lo que tecnológicamente es posible, aunque encarece la producción de energía eléctrica. [12]

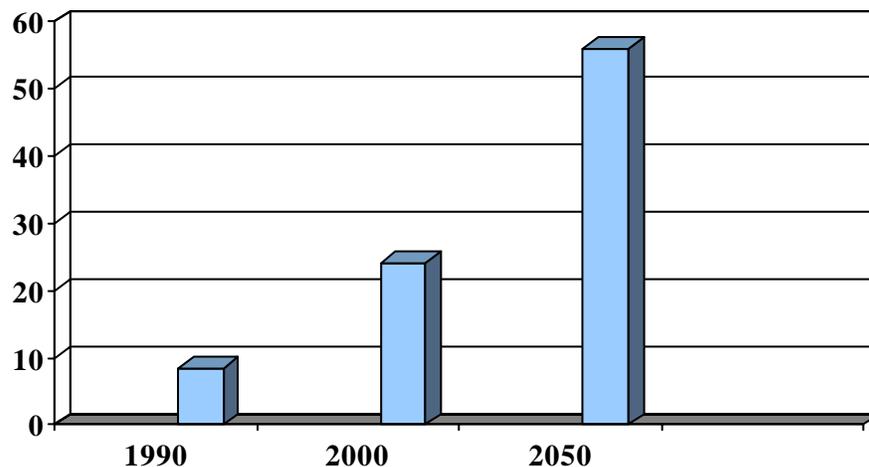
## 1.4 Fuentes de energía

Como se señaló al principio, desde tiempos remotos el hombre utilizó la fuerza del viento y del agua para satisfacer sus necesidades energéticas. El agua y el viento son fuentes de energía inagotable que brindan amplias posibilidades de aplicación práctica y además, el daño que causan al medioambiente es incomparablemente menor con el que producen los combustibles fósiles o nucleares.

Fue de esta forma que en la actualidad se han retomado las ideas de nuestros antepasados y se ha comenzado una revisión al amparo de las nuevas tecnologías, de aplicaciones más eficientes a estas fuentes, lo que ha dado en llamarse como fuentes de energía renovables.

Debido a lo antes expuesto una de las formas más comunes de clasificar las fuentes de energía es dividir las en dos grandes grupos: fuentes de energía renovables y fuentes de energías no renovables o agotables. [17]

Las fuentes de energía renovables son aquellas de las cuales la energía se obtiene a partir de recursos prácticamente inagotables para el hombre como son: el sol, el viento, las corrientes de ríos y mares, el calor proveniente del interior de la tierra, entre otras. Sin dudas, estas fuentes están llamadas a ser la solución de las necesidades energéticas futuras de la humanidad, como se muestra en la figura 1.4 [16]



**Figura 1.4 Necesidades futuras de energía (en TW.h).**

Las fuentes de energías no renovables o agotables, provienen de los combustibles fósiles y su tasa de utilización es muy superior al ritmo de formación. Como dato interesante se puede agregar que actualmente la humanidad, sobre todo una parte de ésta (el norte), devora los combustibles fósiles a un ritmo 100 000 veces más rápido que el de su velocidad de formación. Esta es la situación del petróleo, el gas natural y en menor medida la del carbón, aunque este último, con el tiempo, se verá en iguales condiciones. Como ya se señaló, la energía nuclear cae también dentro de esta clasificación. [25]

### **1.5 Las fuentes de energía renovables y su impacto**

Esta energía llega del sol, del viento, del agua de los ríos y mares, de las profundidades de la tierra y de algunos residuos. No se agotan, se obtienen de forma periódica y no limitada en el tiempo, no producen lluvia ácida ni contribuyen al efecto invernadero, no dejan residuos importantes, acercan las fuentes de producción al consumidor ahorrando así miles de kW.h en transporte, fortalecen la independencia energética y la industria, favorecen la creación de empleo. [21]

En síntesis, todos estos beneficios y más, aportan las fuentes de energías renovables que existen a nuestro alcance y que desempeñarán un papel decisivo en el futuro si se toman las medidas necesarias para su desarrollo a gran escala. [21]

Los tiempos van cambiando y con ellos, las maneras de pensar. Cuando ya el cambio climático es un hecho reconocido por todos los gobiernos del mundo y el efecto invernadero nos amenaza con igual agresividad debido a los métodos que empleamos para obtener la energía que necesitamos, expertos e instituciones ven en las energías renovables una solución para resolver los graves problemas que afectan todo el planeta. No olvidemos tampoco que la materia prima de las cuales obtenemos la energía como son el petróleo y carbón, no son ilimitadas y que dependen en buena parte, de las situaciones políticas en que atraviesan los diferentes países que las suministran. [21]

Las energías renovables, llamadas también limpias por el escaso impacto ambiental que ocasionan, constituyen una fuente de aprovechamiento inagotable y a la vez es más segura y autónoma. Son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente, lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son infinitamente menores si los comparamos con los impactos ambientales de las energías

convencionales a partir de combustibles fósiles como el petróleo, gas, carbón y la energía nuclear. [21]

Sus efectos para el medio ambiente casi siempre son reversibles. Según un estudio titulado "Impactos ambientales de la producción de electricidad", el impacto ambiental en la generación de electricidad a partir de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables. Como ventajas medioambientales importantes se pueden destacar:

- No emisión de gases contaminantes como productos finales de la combustión de combustibles fósiles, responsables del calentamiento global del planeta ( $\text{CO}_2$ ) y de la lluvia ácida ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ )
- No generación de residuos peligrosos de difícil tratamiento y que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente como los residuos radiactivos relacionados con el uso de la energía nuclear.
- Contribución al equilibrio territorial, ya que pueden instalarse en zonas rurales y aisladas.
- Disminución de la dependencia de suministros externos, ya que las energías renovables son autóctonas, mientras que los combustibles fósiles sólo se encuentran en un número limitado de países. [16]

Entre los países que más adelanto han alcanzado en cuanto a utilización de las fuentes de energía renovables, se encuentran los europeos. El 5% del consumo energético de la Unión Europea procede actualmente de fuentes renovables. El objetivo es conseguir un 12% para el año 2010. En este panorama europeo, por ejemplo España, con tecnologías punteras y muchos proyectos en marcha, ocupa en estos momentos el cuarto lugar de Europa en cuanto a utilización de energías limpias como alternativa a las actuales fuentes contaminantes a partir de combustibles fósiles. Las energías renovables, cubren actualmente alrededor del 13% del consumo energético español, correspondiendo el 10% a la hidráulica, el 3% a la biomasa y cantidades pequeñas, pero ya significativas, de energía solar, geotérmica y eólica. En tales cifras no se incluye el aporte solar directo, gracias al cual el consumo de calefacción y agua caliente en España es muy inferior al de otros países europeos situados en latitudes más frías. [32]

Como se puede ver, es posible lograr mucho en términos energéticos si se implementan programas que desarrollen el uso de estas fuentes que son un regalo de la naturaleza para el

hombre. Claro está, la aplicación de estas tecnologías dependen en un alto grado de la zona geográfica en la cual se encuentre ubicado el país que determine utilizar dichas fuentes de energía.

Los vientos, la incidencia de los rayos del sol y las cantidades de agua presentes en el planeta, además de otros muchos factores que intervienen en este problema de las energías renovables, no son iguales en todas partes. Por estas razones, cada nación implementa las formas de obtener energía a partir de fuentes renovables, más recomendables para su situación geográfica.

Sin dudas, la aplicación de las fuentes de energía renovable, será la solución de las futuras generaciones. Con ellas al mismo tiempo que se garantice el desarrollo de la humanidad, el impacto medioambiental, causado por diferentes agentes contaminantes (tabla 1.1) disminuirá en gran medida, hecho determinante para resolver todos los problemas relacionados con el medioambiente como el calentamiento global, las lluvias ácidas, el efecto invernadero entre otros no menos dañinos para el hombre y la Tierra. [29]

**Tabla 1.1 Contaminantes y sus principales fuentes.**

<b>Contaminante</b>	<b>Principales fuentes</b>
Monóxido de carbono (CO)	Gases de escape de vehículos de motor y algunos procesos industriales. Instalaciones generadoras de calor y electricidad que usan petróleo o carbón con contenido sulfuroso, plantas de ácido sulfuroso.
Partículas en suspensión	Gases de escape de vehículos de motor, procesos industriales, incineración de residuos, generación de calor y electricidad y reacción de gases contaminantes en la atmósfera.
Plomo (Pb)	Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo, fábricas de baterías.
Óxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> )	Gases de escape de vehículos de motor, generación de calor y electricidad, ácido nítrico, explosivos, fábricas de fertilizantes.
Hidrocarburos no metánicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Gases de escape de vehículos de motor, evaporación de disolventes, procesos industriales, eliminación de residuos y combustión de combustibles.
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Todas las fuentes de combustión.

El principal obstáculo que frena a las fuentes de energía renovable es el económico, debido a que, inicialmente son más caras que las fuentes tradicionales, debido fundamentalmente a que estas cuentan ya con una infraestructura creada, en tanto que el costo de las tecnologías que se aplican para su aprovechamiento, se encuentran en desarrollo. Aunque desde otro punto de vista, no es tan claro que las energías tradicionales sean más baratas, porque si se incluyera el costo que supone limpiar la contaminación que provocan o disminuir sus daños ambientales, el precio de la energía obtenida del petróleo, carbón, gas o uranio, sería más alto del que tienen actualmente en el mercado. [29]

Son muchas las razones como las tratadas aquí, por las cuales es obvio que las fuentes de energía renovables y su aplicación, serán la solución a los problemas medioambientales, gracias al bajo impacto que estas producen. Además, serán la solución al problema energético del futuro, cuando los combustibles fósiles dejen de existir.

### **1.6 Generación distribuida**

La generación distribuida representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada. Aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica. [42]

De hecho, la industria eléctrica se fundamentó en la generación de la energía en el sitio de consumo, después, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia el esquema de generación centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor. Sin embargo, se tenían restricciones tecnológicas de los generadores eléctricos de corriente continua y su transporte máximo por la baja tensión, que era de 30 a 57 km. [42]

Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con la generación de corriente alterna y la utilización de transformadores, lo que permitió llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación. Bajo este escenario, se perdió el concepto de generación centralizada, ya que las grandes centrales se encuentran en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca del suministro de combustible y el agua, necesaria para su enfriamiento. [42]

En los años setenta, factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y de demanda eléctrica (alta tasa de crecimiento) a nivel mundial, plantearon la necesidad de alternativas tecnológicas para asegurar, por un lado, el suministro oportuno y de calidad de la energía eléctrica y, por el otro, el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales. [42]

Una de estas alternativas tecnológicas es generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar del consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria eléctrica, incorporando ahora las ventajas de la tecnología moderna y el respaldo eléctrico de la red del sistema eléctrico, para compensar cualquier requerimiento adicional de compra o venta de energía eléctrica. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como generación In-Situ, generación dispersa, o más cotidianamente, generación distribuida. [42]

La aplicación de este tipo de tecnología brinda muchos beneficios. Entre estos tenemos:

- Incremento en la fiabilidad.
- Aumento en la calidad de la energía.
- Reducción del número de interrupciones.
- Uso eficiente de la energía.
- Uso de las energías renovables.
- Disminución de emisiones contaminantes y todos los beneficios medioambientales que esto acarrea.

Para quien la suministra:

- Reduce las pérdidas en transmisión y distribución
- Libera capacidad del sistema.
- Proporciona mayor control de la energía reactiva.
- Reduce la saturación del sistema.
- Permite incorporar fuentes pequeñas al proceso de generación.

Como vemos, son muchas las ventajas de la generación distribuida, una tecnología que promete quedarse para siempre con el único fin de brindarnos la energía de una forma eficiente, con calidad y menores daños para el medioambiente. [26, 41,42]

## **CAPÍTULO 2. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES**

### **2.1 Introducción**

En este capítulo se analiza todo lo relacionado con las fuentes de energía renovables. Se da una explicación de cada una de ellas, comentando también las ventajas, desventajas, tendencia y aplicaciones. Se hace énfasis en la biomasa como forma más recomendable para ayudar a satisfacer nuestra demanda energética, debido a la infraestructura ya creada en Cuba, lo cual hace posible el desarrollo de esta forma de obtención de energía en nuestro país.

### **2.2 Introducción a las fuentes de energía renovable.**

Como se expuso en el capítulo anterior, las fuentes de energía renovables son aquellas que se producen de manera inagotable. Son fuentes de energía sanas, a pesar de que para el aprovechamiento de algunas de ellas, el entorno puede ser perturbado en forma más o menos sensible; por esta razón se dice que causan un bajo impacto al medioambiente.

Las principales fuentes renovables de energía son: solar, eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica. Existen otras formas a partir de la energía de las mareas y la fuerza de las olas, que se aprovechan para producir energía eléctrica. También otra, derivada de los océanos, se conoce como gradiente térmico oceánico (GTO). [21]

En la actualidad está teniendo gran aceptación la energía que se obtiene a partir de las celdas de combustible, donde por combinación del oxígeno y el hidrógeno se genera electricidad, calor y agua. Esta forma de producir energía eléctrica puede ser o no renovable, en dependencia de la fuente primaria de combustible, aunque sus mayores perspectivas se vislumbran como renovable. Se entiende por energía primaria las fuentes primarias y sistemas con los que se inicia el largo camino del aprovechamiento de los recursos energéticos, siendo el Sol la principal de ellas. Como se dijo anteriormente, el hidrógeno no es una fuente primaria, debido a que para su obtención es necesario hacer un gasto adicional de energía a partir de otras fuentes. [21, 16]

## **2.3 Energía solar**

El Sol es la única fuente externa de energía que llega al planeta. Aunque a escala cósmica el Sol tiene vida limitada, a escala humana es inagotable; se espera que continúe enviándonos energía durante miles de millones de años más.

Del Sol se derivan todas las fuentes de energía renovables: solar, hidráulica, biomasa, eólica, mareomotriz, GTO, etc.

La energía solar es el resultado de reacciones nucleares de fusión. Esta radiación electromagnética llega a la tierra a través del espacio e interactúa con la atmósfera y la superficie terrestre. Es esta radiación la que se aprovecha para obtener energía.

Existen dos formas de energía a partir de la radiación solar de las cuales el hombre se beneficia, estas son: la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica. [13]

### **2.3.1 Energía solar térmica**

La energía solar térmica se refiere a la energía del Sol que se aplica con fines térmicos (calentamiento). La conversión de la energía solar en calor útil se logra por medio de dispositivos conocidos como colectores solares, los cuales pueden ser clasificados en dos grupos: los de bajas temperaturas (colectores planos), los que alcanzan temperaturas entre 40 y 100 grados Celsius; y los altas temperaturas (colectores concentradores), con los que se obtienen hasta 500 y más grados Celsius de temperatura. [13, 44]

#### **2.3.1.1 Colectores planos**

Los colectores planos son de construcción sencilla, generalmente consisten en una caja de pequeño grosor en comparación con sus otras dos dimensiones y en su interior se instala una superficie absorbente, recorrida por unos tubos por donde circula el agua que transporta el calor útil absorbido. Esta caja se cubre por una lámina transparente de vidrio o plástico, con el objetivo de reducir las pérdidas por convección o radiación. En la parte opuesta a esta cara se coloca un material aislante que tiene como función reducir las pérdidas por convección. [44, 45]

El principio de funcionamiento de estos colectores es el siguiente: los colectores interceptan la radiación en una placa de absorción por la que circula el fluido portador. Este fluido se

calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción, para luego darle el uso deseado. [44, 45]

La energía transferida por el fluido portador, dividida por la energía solar que incide sobre el colector, se llama eficiencia instantánea del colector; esta eficiencia puede tener valores entre 40 y 60 %. Estos valores dependen en gran medida del ángulo de inclinación para montar los colectores, el cual a su vez depende de la latitud donde se instalen. [44, 45]

La mayor aplicación de los calentadores a partir de los colectores solares planos se encuentra en el sector doméstico. En los calentadores solares domésticos, las temperaturas requeridas son de los 40 a los 60 grados Celsius. También en las escuelas, círculos infantiles, instalaciones hoteleras, etc, se aplican con muy buenos resultados los calentadores solares a partir de colectores planos, lográndose así un gran ahorro de energía eléctrica. [44, 45]

Una de las posibilidades de este tipo de colector es que no solo capta la radiación directa sino también la radiación difusa. Un calentador solar bien dimensionado puede trabajar de manera satisfactoria no solo en días soleados sino en días medio nublados, siempre que la radiación no caiga por debajo de ciertos límites. En nuestro país se logra satisfacer la demanda de agua caliente en más del 95 % de los días del año. [44, 45]

### **2.3.1.2 Colectores concentradores**

Conocidos también como colectores focales, son utilizados en sistemas ópticos reflectores o refractores, con el objetivo de concentrar la energía solar en un foco generalmente puntual o lineal. En estos calentadores, la energía solar se concentra, antes de transformarse en calor, por medio de procedimientos ópticos. La radiación solar que penetra a un colector concentrador a través de una superficie determinada se refleja, refracta o absorbe por una superficie menor, para luego ser convertida en energía térmica. Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor pueden tomar varios cientos e incluso miles de grados Celsius. [44, 45, 47]

Los concentradores deben moverse hacia el Sol si se quiere que actúen con eficiencia. La ventaja principal de este tipo de calentador es la reducción de las pérdidas térmicas en el receptor, ya que existe menos área para la radiación del calor y el líquido que circula por el

receptor puede calentarse a mayores temperaturas con un rendimiento razonable y a menor costo. [44, 45]

Entre los tipos de calentadores solares a partir de colectores concentradores tenemos: parabólicos (por reflexión) y parabólicos (por refracción).

En el parabólico (por reflexión), el colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y los hace incidir en un elemento receptor que se encuentra en el foco.

En el parabólico (por refracción), el colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto donde se encuentra el receptor. [44, 45, 47]

### **2.3.1.3 Ventajas y desventajas de la energía solar térmica**

La ventaja de la energía solar térmica es muy evidente, prácticamente su propio nombre nos hace reconocerla. Esta aplicación de la energía solar permite:

- Calentar fluidos (agua generalmente) ahorrándose así grandes cantidades de energía eléctrica que se utilizaría para estos fines (calentamiento).
- Cada metro cuadrado de colector solar ahorra una tonelada de dióxido de carbono al año.
- En términos sociales, crea puestos de trabajo, reduce la dependencia económica y energética del exterior y evita conflictos por el control de los recursos.

En cuanto a desventajas, esta aplicación de la energía solar no presenta prácticamente ninguna. Los costos de los calentadores solares no son altos y se encuentran al alcance de todos; lo cual no sucede con la energía solar fotovoltaica. El inconveniente que esta forma de usar la energía solar tiene, está relacionado con el lugar de ubicación del calentador y los niveles de radiación que este recibe. No todas las latitudes son iguales para la aplicación de esta tecnología, pero de manera general, siempre se sienten sus efectos en cuanto a ahorro de energía eléctrica. [23, 46, 47]

### **2.3.1.4 Tendencias y aplicaciones de la energía solar térmica**

La tendencia en el mundo es a hacer uso de esta tecnología, muchos países la aplican, contribuyendo de esta manera al ahorro de energía eléctrica y al cuidado del

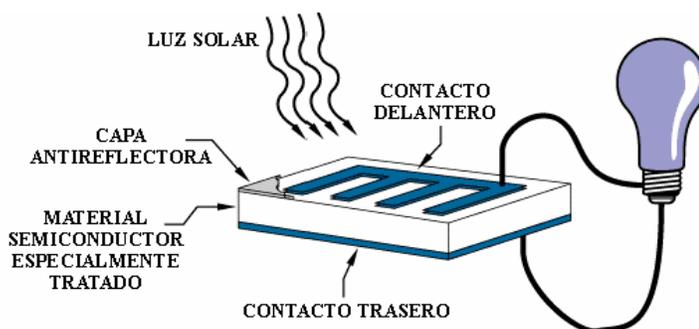
medioambiente. Este uso de la energía solar se acrecienta cada vez más gracias a las ventajas que presenta. Por ejemplo, en una encuesta realizada a ciudadanos españoles, la mayoría de estos (72,1 %) están dispuestos a utilizar la energía solar para obtener el agua caliente y la calefacción. Las únicas condiciones para generalizar aún más el uso de esta tecnología, es abaratar los costos y garantizar un buen funcionamiento del sistema.

En nuestro país como solución a los problemas energéticos y aprovechando la radiación solar que es intensa todo el año, también se hace uso de la energía solar térmica. Los círculos infantiles, escuelas, hospitales, empresas, campismos y algunas otras entidades del Estado se benefician de la radiación solar, por medio de la instalación de calentadores solares. También el secado de productos agropecuarios e industriales es otra de las aplicaciones que encuentra la energía solar térmica en nuestro país. [23, 31, 47]

### 2.3.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene transformando la radiación solar directamente en electricidad por medio de paneles solares construidos para este fin. El principio de funcionamiento de estos sistemas de paneles se basa en el fenómeno físico conocido como efecto fotoeléctrico o fotovoltaico. Este fenómeno permite que algunos materiales con determinadas propiedades, sean capaces de emitir electrones cuando reciben luz (energía de los fotones). Cuando estos electrones libres se capturan, el resultado es una corriente eléctrica.

En la figura 2.1 se ilustra la operación de una celda fotovoltaica, llamada también celda solar. Las celdas solares están hechas de materiales semiconductores, tales como el silicio, que se usan en la industria microelectrónica. [31, 45]



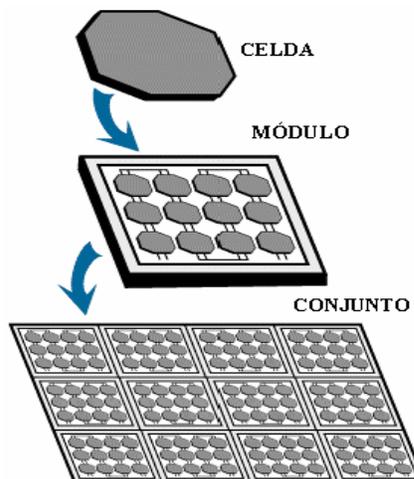
**Figura 2.1 Operación de una celda fotovoltaica.**

Para las celdas solares, una delgada rejilla semiconductor se trata especialmente para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la energía luminosa llega hasta la celda solar, los electrones reciben la energía suficiente para abandonar el material semiconductor. Si se ponen conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la rejilla, y se forma un circuito eléctrico, los electrones forman una corriente eléctrica, que se puede aplicar a una carga determinada. [9]

Aunque las celdas solares basadas en compuestos y aleaciones están en desarrollo, la mayor parte de las celdas comerciales se basan bien en obleas de silicio monocristalino, similares a las usadas en microelectrónica, o a substratos policristalinos obtenidos a partir de cintas de silicio. [9]

Las celdas solares de silicio transforman la energía solar en eléctrica con una eficiencia de conversión, a nivel de laboratorio, con valores cercanos a 25 %, lo que se convierte en un desafío a obtener en las producciones industriales de bajo costo. Para el caso de otras celdas más complejas, basadas en los elementos III-V de la tabla periódica, se puede alcanzar valores de eficiencia de conversión de hasta un 34 %. [9]

Un arreglo de varias celdas solares conectadas eléctricamente unas con otras y montadas en una estructura de apoyo o un marco, se llama módulo fotovoltaico (figura 2.2). Los módulos están diseñados para proveer un cierto nivel de voltaje. La corriente producida depende directamente de cuánta luz llega hasta el módulo. [31, 45]



**Figura 2.2 Módulo y arreglo fotovoltaico.**

Varios módulos se pueden interconectar unos con otros para formar un arreglo. En general, mientras más grande es el área de un módulo o arreglo, mayor será la potencia. Los módulos y arreglos fotovoltaicos producen corriente directa. Estos arreglos se pueden conectar en serie o paralelo para producir los valores de voltaje o corriente que se requieran.

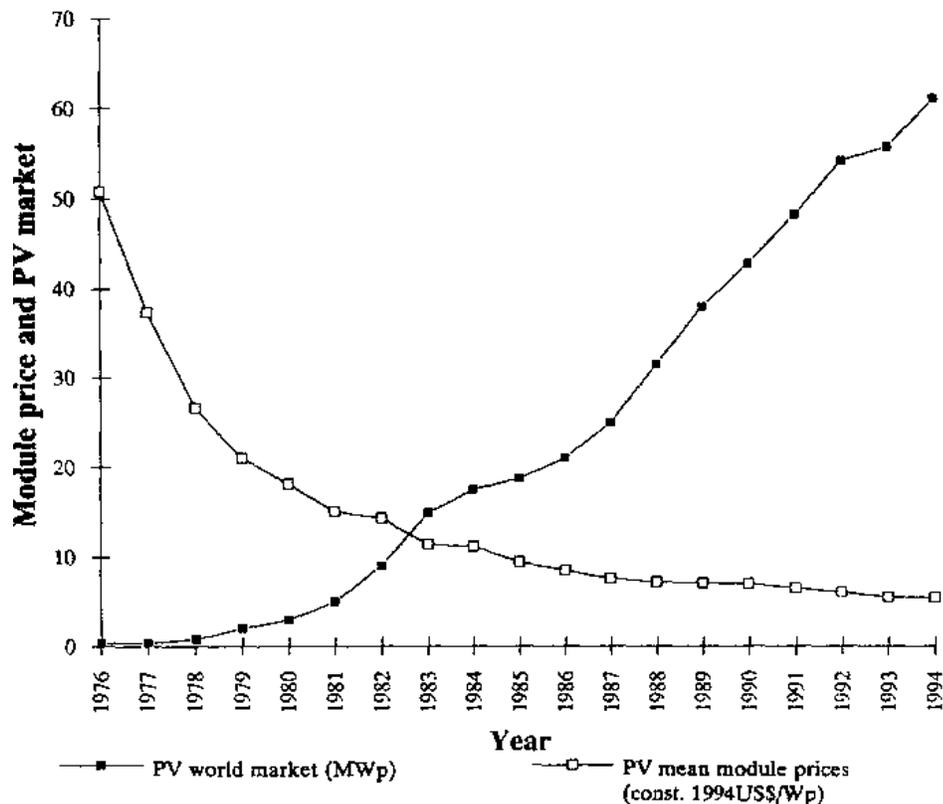
Los módulos se conectan a un convertidor de corriente directa CD a CD, el cual se encarga de estabilizar el voltaje para cargar las baterías (la incidencia de los rayos solares no es la misma todo el tiempo), luego se cargan las baterías al voltaje deseado y por último un convertidor de CD a corriente alterna CA es el encargado de suministrar la energía eléctrica para su uso común, al realizar la transformación de esta a CA. [31, 45]

### **2.3.2.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica**

Las celdas fotovoltaicas ofrecen varias ventajas, entre las que están las siguientes:

- No tienen partes móviles.
- Son extremadamente modulares.
- Generan desde fracciones de W hasta decenas de MW (se pueden instalar en un reloj, casa, auto, fábrica, etc).
- Fácil instalación, inclusive por partes y cada una de ellas genera inmediatamente, o sea, es aditiva.
- Versátil y silenciosa.
- Tiene poco riesgo tecnológico, ya que la disminución de los costos ha ido dictando el nivel de aplicación en cada momento, facilitando así su carácter modular (comienza a ser competitiva con otras fuentes).
- Produce muy bajo impacto ambiental (prácticamente ninguno), ayudando de esta forma a mantener limpio el medioambiente.

La principal desventaja de esta tecnología es el costo, el que ha ido decreciendo vertiginosamente a medida que su aplicación se ha extendido, como nos muestra la figura 2.3



**Figura 2.3 Costo y mercado de módulos fotovoltaicos.**

Otra de las desventajas que presenta es que sus niveles de generación varían en dependencia de la radiación, existiendo lugares donde su contribución es pobre. [44]

### 2.3.2.2 Tendencias y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica, se presenta como la de mayor calidad e idónea, al sustentarse en un recurso abundante y barato como el silicio y en una fuente inagotable como es el Sol.

Varios expertos han analizado las tendencias tecnológicas y los nuevos productos sobre los que se va a sustentar el crecimiento del sector de la energía fotovoltaica. También han coincidido plenamente en que los retos del sector son la obtención de células más eficientes y baratas, con una tendencia a comercializar módulos con un número de células cada vez mayor, y conseguir un menor impacto ambiental en el proceso de fabricación de las células. Igualmente, se destacan otros avances tecnológicos orientados a mejorar la eficiencia de las instalaciones mediante sistemas de seguimiento solar y la mejora de las prestaciones de los convertidores de conexión a red. [55]

Igualmente los expertos también destacan la importancia de facilitar la integración de la energía fotovoltaica en edificios, buscando un equilibrio entre estética y funcionalidad, así como la integración en la propia sociedad a través de actuaciones y productos que faciliten la sensibilización y la difusión de su uso. [55]

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica están creciendo a un ritmo increíble. Una muestra de esto es que en los últimos cinco años se han producido cambios e incrementos importantes a escala mundial en la utilización de esta fuente de energía renovable y limpia. A mediano plazo se pronostican crecimientos entre un 15 y 25 % anuales, con Japón, Alemania, Estados Unidos y Australia como sus principales impulsores, lo que convierte en significativo el peso relativo de la energía solar fotovoltaica en el consumo energético mundial. [55]

En Cuba también se ha incrementado notablemente la potencia fotovoltaica instalada mediante la electrificación de escuelas, consultorios médicos y otros objetivos sociales vinculados con la cultura y a la recreación en lugares apartados de las redes del Sistema Eléctrico Nacional. Al terminar el primer semestre del año 2003 la potencia total instalada alcanzaba los 2 MW en sistemas fotovoltaicos autónomos.

## **2.4 Energía hidráulica**

La humanidad ha venido usando la energía hidráulica desde hace siglos. El agua, y por consiguiente la energía hidráulica, es un recurso limitado, pero al ser renovable en ciclos, no se agota con el uso y puede acumularse.

La energía hidráulica se manifiesta mediante la carga hidráulica, energía que tiene el fluido por unidad de peso y se mide en unidades de longitud (metros). La carga se presenta en tres formas: a elevación, energía potencial o de posición por unidad de peso; a presión, energía por unidad de peso debida a la presión; a velocidad, energía cinética debida a la velocidad, por unidad de peso. La carga total, o sea, la energía total por unidad de peso es la sumatoria de las tres formas de carga hidráulica. [37]

En la actualidad, el hombre construye presas para almacenar agua en lugares altos. Esta agua al liberarla es utilizada para generar electricidad por medio de las turbinas eléctricas que se encuentran instaladas en las hidroeléctricas.

Las plantas hidroeléctricas aprovechan la energía potencial del agua o la cinética para mover las turbinas y generadores que producen la electricidad. En forma general, el agua que fluye y cae a través de las cortinas de las presas, saltos de agua, etc, se lleva por conductos para hacer girar las aspas de las turbinas, las que a su vez hacen girar los generadores. [37]

Las turbinas hidráulicas son los motores que en forma general están sometidos a una variación más amplia en las condiciones de trabajo. Reciben cargas que pueden ser desde uno hasta prácticamente dos mil metros, desarrollando de esta forma potencias que van desde poco kW hasta potencias tan grandes como 500 MW en una sola unidad; ejemplo de esto es el caso de la central hidroeléctrica de Itaipú con turbinas de 715 MW por unidad.

Hoy en día, con las posibilidades de transmitir la electricidad a grandes distancias, la construcción de enormes centrales hidroeléctricas ha sido corriente en los países que disponen de abundantes recursos hidroenergéticos. Son ejemplo de estos gigantes hidroeléctricos las estaciones de Grand Coulee en los Estados Unidos (6 500 MW), Krasnoyarsk en Siberia (6 000 MW), Guri en Venezuela (10 300 MW) e Itaipú en Paraguay-Brasil (12 600 MW). En la actualidad se construye la central de Tres Gargantas en China, la que promete ser la mayor de todas. [21]

#### **2.4.1 Ventajas y desventajas de la energía hidráulica**

La energía hidráulica como fuente de energía renovable brinda muchas ventajas entre las cuales están:

- Es inagotable.
- No contamina el medioambiente.
- Es muy segura.
- Se produce a muy bajo costo.
- La tecnología para su uso está lo suficientemente desarrollada en el ámbito mundial, por lo que no se requiere de forma general, hacer investigaciones fundamentales adicionales para su aplicación inmediata como sucede con otras fuentes renovables.

En cuanto a las desventajas encontramos las siguientes:

- Los grandes proyectos hidroenergéticos que hace algunos años se preferían, en la actualidad han reducido su atractivo debido a los altos costos de construcción, el impacto medioambiental (destrucción de grandes zonas boscosas con el consiguiente daño a la flora y principalmente a la fauna) y el tiempo que se necesita para su planeamiento y construcción.
- La imprevisibilidad de las precipitaciones.
- La capacidad limitada de los embalses.
- Los riesgos que puedan ocasionar la ruptura de una represa.

#### **2.4.2 Tendencias y aplicaciones de la energía hidráulica**

La tendencia actual es la de construir pequeñas centrales hidroeléctricas. En comparación los pequeños aprovechamientos y aquellos no tan grandes, de energía hidráulica, se pueden proyectar y construir en menos tiempo y son menos susceptibles a la creación de problemas medioambientales. Aunque el costo por kW instalado sea mayor, los proyectos menos grandes son más fáciles de financiar. Esto hace que la pequeña hidroenergética se haga atractiva para los países subdesarrollados fundamentalmente, donde la instalación de sistemas dispersos de energía resulta esencial para el desarrollo económico y social. Es de destacarse que países desarrollados poseedores de una red de distribución muy densa, como Francia, tienen conectado a la red gran cantidad de hidroeléctricas menores de 50 kW, lo que demuestra que el aprovechamiento de los pequeños recursos hidroenergéticos no está restringido a los lugares aislados, sino que también es favorable incorporarlos a los grandes sistemas nacionales. [32]

En cuanto a las aplicaciones, es muy evidente que la principal y más utilizada es la generación de energía eléctrica. En nuestro país existe una gran cantidad de hidroeléctricas de diferentes capacidades de generación que apoyan el suministro de energía eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Actualmente existen 138 microplantas con 9 de ellas conectadas al SEN, 32 miniplantas con 12 conectadas al SEN y 5 pequeñas plantas, todas conectadas al SEN, lo que suma un total de 175 plantas hidráulicas generadoras, de las cuales 26 tributan al SEN.

La mayor de nuestras hidroeléctricas es la del Hanabanilla, la cual se encuentra ubicada en el Escambray Villaclareño; esta central genera 43,5 MW con sus tres generadores a máxima capacidad.

Estudios realizados arrojan como resultado que en nuestro país es posible la construcción de 30 pequeñas centrales hidroeléctricas, 60 minihidroeléctricas y 80 microhidroeléctricas, lo que corresponde a una potencia instalada de 52 MW capaz de generar 210 GW.h/año.

El potencial de las represas existentes en nuestro país es de 400 MW, para una generación potencial de 1 000 GW.h/año. Se espera instalar 6 600 kW más lo que haría posible una generación potencial anual de 37 600 MW.h/año.

## **2.5 Energía eólica**

La energía eólica es una variante de la solar, se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera y de las irregularidades del relieve de la superficie terrestre. Sólo una pequeña fracción de la energía solar recibida por la Tierra se convierte en energía cinética del viento y sin embargo ésta alcanza cifras enormes, superiores en varias veces a todas las necesidades actuales de la electricidad.

La utilización más antigua de la energía eólica, es la impulsión de barcos a vela, los molinos de viento era otro de sus usos; se utilizaban en el siglo VI en Persia y a partir del siglo XIII adquirieron un gran desarrollo en Europa para la molienda del trigo y el bombeo de agua.

La conversión de la energía del viento en electricidad, se realiza por medio de aerogeneradores, con tamaños que abarcan desde algunos W hasta los 5 MW. Los aerogeneradores se han desarrollado intensamente desde la crisis del petróleo en 1973, habiéndose construido desde entonces más de 100 000 de estas máquinas. [56]

El aerogenerador (o generador eólico) produce electricidad al recibir la fuerza del viento. Al mismo tiempo, la envía hacia el sistema de acumulación (baterías) donde se almacenará para su uso en el momento necesario. Entre ambos componentes se intercala un regulador, el cual automatiza y garantiza el correcto funcionamiento del sistema. El inversor convierte la CD almacenada en las baterías en CA, con lo que puede funcionar cualquier sistema de potencia acorde a la del inversor. [56, 52]

### 2.5.1 Ventajas y desventajas de la energía eólica

- En zonas muy ventosas, durante todo el año es capaz de garantizar por sí sola todo el suministro energético necesario sin necesidad de apoyo de otras fuentes de energía. No obstante, en zonas poco ventosas es imprescindible que vaya acompañado de paneles solares, garantizando el suministro a lo largo de todo el año en días nublados (habitualmente ventosos) y soleados.
- Es un sistema de producción energética limpio y renovable indefinidamente, lo que es una garantía energética y del medioambiente.
- La energía eólica se produce localmente, con lo que se contribuye al autoabastecimiento y el ahorro al evitar la pérdida de divisas al comprar los combustibles fósiles.
- Su aprovechamiento energético requiere una tecnología relativamente sencilla y suficientemente probada.
- El aerogenerador dispone de sistemas de seguridad para autoprotegerse, como puede ser el autofrenado o el cambio de plano de las palas cuando las velocidades del viento sean extremas. [35, 59]

En cuanto a las desventajas de la energía eólica podemos decir que:

- El aire, al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras (alto costo de los aerogeneradores).
- Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción y además produce un gran impacto negativo sobre la avifauna, principalmente por el choque de las aves contra las palas.
- Produce efectos desconocidos sobre modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación. Para evitar este efecto desagradable sobre las aves, se tiene especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves. Actualmente se toman medidas para evitar este problema como son: pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando espacios (pasillos) a las aves, e incluso, en casos extremos, hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.

- Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización. [35, 59]

### **2.5.2 Tendencias y aplicaciones de la energía eólica**

En estos momentos los europeos están haciendo grandes estudios sobre los proyectos de granjas eólicas en el mar (Off-shore). El costo de una granja Off-Shore es mucho mayor que el de una granja On-Shore y se justifica solo en casos de países que tienen problemas de espacio en su territorio, no sería razonable pensar en una granja Off-Shore en países como Brasil y Argentina donde sobra territorio. Por ejemplo en Alemania viajando por la campiña alemana, está todo el terreno ocupado, y la reglamentación exige que no exista un molino a menos de 400 metros de una vivienda. [52]

Los avances en la aerodinámica han incrementado el rendimiento de los aerogeneradores del 10 hasta el 45 %. En buenos emplazamientos, con vientos medios anuales superiores a los 5 m/s a 10 metros de altura, se consiguen producciones eléctricas anuales por metro cuadrado de área barrida superiores a los 1 000 kW.h. El tamaño medio de los grandes aerogeneradores es de 600 a 1 300 kW con rotores de 40 metros de diámetro. Existe una tendencia generalizada hacia las máquinas tripala, que representan más del 80 % de los aerogeneradores instalados. [52]

Las aplicaciones más comunes de la energía eólica, sin tener en cuenta su uso para la navegación marítima (la más antigua de todas), son el bombeo de agua y la generación de energía eléctrica.

En nuestro país de acuerdo con el estudio Evaluación del Potencial Eólico Cubano (de 1991 a 1998), y el Atlas eólico cubano preliminar, la costa norte desde Villa Clara hasta Guantánamo es una región de altas velocidades del viento, donde por lo menos ocho zonas han sido identificadas con velocidades medias anuales superiores a 5,7 m/s a 10 m de altura. No obstante, el régimen de viento no es homogéneo y es fuertemente influenciado

por condiciones locales, debido a la positiva interrelación entre los vientos alisios y las brisas locales.

Lo anteriormente mencionado, junto con las ventajas del paisaje y el uso limitado de la tierra, empleada fundamentalmente para la agricultura y el ganadería, crean buenas condiciones para instalar entre 200 y 500 MW en la isla. Esto significa entre un 5 y un 12% de la capacidad de generación instalada actualmente por el SEN, en dependencia del tamaño de las turbinas que se empleen.

El uso de la potencia eólica en los cayos de la costa norte también tiene un buen potencial y el mejor pronóstico para en un corto y medio término instalar parques eólicos conectados a la red, debido al excelente régimen de viento.

En 1999, una pequeña potencia eólica se conectó al Sistema Electroenergético Nacional. Con un soporte financiero de ONG's europeas, la UNE (Unión Eléctrica) y el apoyo de la ONG cubana CUBASOLAR. Dicho parque eólico conectado a la red es de 2 x 225 kW y se puso en marcha en mayo de 1999. Se encuentra situado en la Isla de Turiguanó, en la provincia de Ciego de Ávila. El parque eólico ha suministrado a la red alrededor de 998,5 MW.h/año.

En Cayo Coco, el cual es uno de los más importantes polos turísticos en desarrollo en Cuba y posee un vertiginoso crecimiento con un impresionante aumento de la demanda eléctrica, se prevee la instalación de un parque eólico de 6 MW. El parque estaría integrado por ocho unidades de 750 kW, o seis unidades de 1 000 kW, o cuatro de 1 500 kW, lo que depende de los resultados del estudio de factibilidad que debe realizarse.

También se piensa en la construcción de un parque eólico 30 MW en la provincia de Matanzas.

## **2.6 Energía de la biomasa**

La energía del sol se utiliza por las plantas para sintetizar la materia orgánica mediante el proceso de fotosíntesis. Esta materia orgánica se incorpora y transforma por el reino animal, incluido el hombre, el cual además, la transforma por procedimientos artificiales en otros bienes de consumo. Todo este proceso da lugar a elementos utilizables directamente, pero también, a subproductos que tienen la posibilidad de encontrar aplicación en el campo

energético (alcoholes). La biomasa es uno de estos elementos, conjuntamente con todos sus derivados.

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible.

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado costo de los combustibles fósiles y los avances tecnológicos, han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, causando que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles. [40]

La utilización de la biomasa es tan antigua como el descubrimiento y el empleo del fuego. Aún hoy, la biomasa es la principal fuente de energía para usos domésticos empleada por más de 2 500 millones de personas en el Tercer Mundo mediante su combustión directa o a través de su transformación en biogás, alcohol, etc. [40]

### **2.6.1 Tipos de biomasa**

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente:

**Biomasa natural:** es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana.

**Biomasa residual seca:** se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos.

**Biomasa residual húmeda:** son los vertidos denominados biodegradables; las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos.

**Cultivos energéticos:** son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible.

**Biocarburantes:** aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales, este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores. [22]

### 2.6.2 Características energéticas de la biomasa

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3 500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10 000 kcal, entonces; por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La tabla 2.1 recoge el poder calorífico inferior a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más habituales. [22]

**Tabla 2.1 Poder calorífico inferior de algunos recursos de biomasa**

Producto	Humedad relativa (%)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)	Humedad relativa (%)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)	Humedad relativa (%)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
Leña y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Aserrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de olivo	0	18.839	15	15.800	35	11.746

Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.449	15	15.424
Cortezas (coníferas)	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Cortezas (Froncosa)	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209

Los métodos de conversión de la biomasa en combustible pueden agruparse en dos tipos: conversión bioquímica y conversión termoquímica. De la primera, se puede obtener el etanol y el gas metano mediante la fermentación alcohólica y digestión anaerobia; de la segunda, se puede obtener gas pobre, carbón y jugos piroleñosos mediante la gasificación y pirolisis.

### 2.6.3 Métodos de conversión de la biomasa en energía

Como se dijo anteriormente, los métodos para la conversión de la biomasa en energía se dividen en dos grupos: métodos termoquímicos y métodos biológicos. [38]

#### 2.6.3.1 Métodos termoquímicos

Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y en particular, a los de la paja y de la madera. Estos métodos son: la combustión y la pirolisis. [38]

**La combustión:** Es la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno del aire. Esta libera simplemente agua y gas carbónico. [38]

**La pirolisis:** Es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 grados Celsius y se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Además, la pirolisis lleva a la liberación de un gas pobre, mezcla de monóxido y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas de débil poder calorífico, puede servir para accionar motores diesel, para producir electricidad o para mover vehículos. Una variante de la pirolisis, llamada pirolisis flash, llega a 1 000 grados Celsius en menos de un segundo; tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa utilizada. [38]

### **2.6.3.2 Métodos biológicos**

La fermentación alcohólica es una técnica empleada desde hace mucho, a partir de los azúcares, donde puede utilizarse también la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas sustancias.

La destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidrido, es una operación muy costosa en energía.

La fermentación metánica es la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias. Es idónea para la transformación de la biomasa húmeda (más del 75 % de humedad relativa). En los fermentadores, o digestores, la celulosa es esencialmente la sustancia que se degrada en un gas, que contiene alrededor de 60 % de metano y 40 % de gas carbónico. El problema principal consiste en la necesidad de calentar el equipo, para mantenerlo a la temperatura óptima de 30 a 35 grados Celsius. No obstante, el empleo de digestores es un camino prometedor hacia la autonomía energética de las explotaciones agrícolas; además, es una técnica de gran interés para los países en vías de desarrollo. [38]

### **2.6.4 Ventajas y desventajas de la biomasa**

La utilización de la biomasa tiene muchas ventajas principalmente relacionadas con el medioambiente, favoreciéndole así en gran medida. Entre estas tenemos:

- La disminución de las emisiones de dióxido de carbono
- La no emisión de contaminantes sulfurados o nitrogenados. Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable se tenga que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y dióxido de carbono, la cantidad de este gas, causante del efecto invernadero, se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- Si se utilizan residuos de otras actividades; esto se traduce en un reciclaje y disminución de dichos residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo su aprovechamiento.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural y también disminuye en cierta medida la dependencia externa de combustibles.

- El empleo de la tecnología de digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda, además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.

Entre las desventajas figuran las siguientes:

- Su costo de producción es mayor frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Presenta un menor rendimiento energético frente a los combustibles fósiles.
- Baja densidad energética
- Se necesitan grandes espacios para su almacenamiento.
- Su transporte se hace complejo.
- Para utilizarla es necesario su acondicionamiento o transformación para su posterior uso. [39]

### **2.6.5 Tendencia y aplicaciones**

La tendencia actual de la biomasa radica en un creciente uso tanto en la industria como en el sector doméstico, donde su desarrollo se acrecienta cada vez más, principalmente en los países europeos donde esta tecnología tiene gran aceptación.

De todas las fuentes de energía renovables, la biomasa es la más importante en el conjunto de la Unión Europea.

En el año 2002 la energía renovable representó para Europa 44 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Tep); de esta cantidad, el 51 % lo aportó la biomasa.

De los países europeos, es Francia el que más se beneficia de esta fuente, produciendo en el año 2002 una cantidad igual a 8.5 millones de Tep.

En cuanto a las aplicaciones se puede decir que con biomasa se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna.

Para la generación de energía eléctrica la biomasa se usa en función de su cantidad y tipo, empleándose las tecnologías conocidas. [38, 39]

### **2.6.6 La biomasa en Cuba**

En nuestro país también se hace uso de la biomasa. Es la fuente renovable que más se ha desarrollado debido a que es un subproducto fundamental de la producción de azúcar. Aunque en nuestro país existen varios recursos que pueden ser utilizados como biomasa, se ha empleado fundamentalmente la biomasa cañera (bagazo). Con la biomasa obtenida de la caña de azúcar ha sido posible generar hasta el 20 % (en tiempo de zafra) de la energía eléctrica consumida por el país.

A pesar de los beneficios de esta fuente de energía, es posible obtener más de ella si se realizan acciones para desarrollarla. Algunas de estas acciones son las siguientes:

1. Desarrollo y demostración de soluciones tecnológicas que permitan el uso de la biomasa cañera para la generación de electricidad durante todo el año.
2. Desarrollo de la caña energética como combustible para la generación de electricidad y calor en la industria.
3. Implementación de soluciones tecnológicas que faciliten el incremento de la entrega de energía eléctrica al SEN como resultado de un aumento en la eficiencia energética en las fábricas de azúcar (CAI).
4. Desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas en los CAI que propicien incrementar la disponibilidad de bagazo como combustible.
5. Perfeccionamiento de las tecnologías y los esquemas empresariales necesarios para la sistematización de la producción y uso del biogás a partir de residuos agroindustriales y de los residuos sólidos urbanos para su uso como combustibles en la cocción de alimentos en zonas aisladas y poblados rurales, el transporte y la generación de electricidad.
6. Desarrollo, demostración e introducción de tecnologías y esquemas empresariales que permitan el uso de residuos agroindustriales cañeros y forestales (incluyendo el marabú), como combustibles en las pequeñas y medianas industrias en sustitución de los convencionales en hornos y calderas.
7. Investigación, desarrollo y demostración de tecnologías dirigidas a la producción y empleo de combustibles líquidos y gaseosos a partir de la biomasa: pirólisis, gasificación, aceites vegetales, etc.

Estas soluciones se pueden desarrollar porque en el país existe una serie de oportunidades que lo permiten. Se cuenta con un número suficiente de especialistas vinculados a esta actividad, así como centros de investigación prácticamente en todas las universidades del país, además de centros de investigación dedicados a esta temática como el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), el Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) y el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Además, la infraestructura para esta forma de generación ya está creada, los CAI (77 en existencia, a lo largo del país) son los encargados de generar la electricidad a partir de la biomasa. Estos ya están construidos, por lo que no existirán grandes costos de inversiones, solo los necesarios para aumentar la eficiencia de estas plantas generadoras a partir de biomasa.

Como ejemplo de esto tenemos el CAI Panamá, del municipio Vertientes en la provincia de Camagüey, el cual generó durante la zafra 2004, 87 MW.h/día durante 120 días de zafra, llegando incluso a generar 122 MW.h/día en los días de mayor molienda. De estos 87 MW.h/día solo 80 MW.h/día consume el municipio Vertientes incluyendo el consumo del CAI, lo que posibilitó que 7 MW.h/día se entregaran para otros consumidores. Como dato interesante una tonelada de caña actualmente produce entre 25 y 30 kW.h de energía eléctrica, en tanto que CAI logró suministrar 52 kW.h por tonelada de caña lo que demuestra que mucho se puede lograr en términos energéticos cuando se trabaja con vistas al aumento de la eficiencia.

Otro ejemplo lo son, las varias soluciones tecnológicas implementadas en las locomotoras de vapor que las convierte en una opción real frente a las Diesel, utilizando biomasa como combustible.

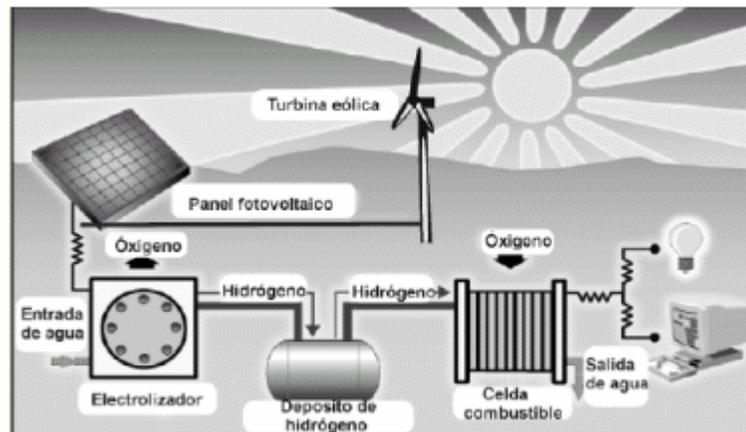
## **2.7 Energía a partir del hidrógeno**

El hidrógeno es el elemento más abundante en la naturaleza. Si bien en estado libre se encuentra en pequeñas proporciones (aproximadamente 0,2 %), combinado con otros elementos está ampliamente distribuido en la Tierra, donde el compuesto más abundante e importante de este es el agua. También se puede encontrar en todos los componentes de la materia viva, en muchos minerales y como una parte esencial de los hidrocarburos y una gran variedad de otras sustancias orgánicas.

Su velocidad de inflamación es alta con amplios límites de inflamabilidad, lo cual le favorece como combustible para motores de combustión interna, turbinas de gas o motores a chorro.

Posee alta temperatura de ignición y baja luminosidad de llama lo que lo hace más seguro en relación a otros combustibles. Además, es un combustible limpio que cuando se combustiona no produce emisiones contaminantes, excepto en algunas relaciones H<sub>2</sub>/aire donde la temperatura elevada de la llama produce concentraciones significativas de óxidos nitrosos en combustión. [34]

El carácter no estable de la radiación solar debido a las noches y nubosidad durante el día, hace necesario el almacenamiento de la energía en sistemas solo dependientes de la energía solar. Cuando el hidrógeno se obtiene de fuentes renovables, por conversión directa o indirecta, se le denomina hidrógeno solar (figura 2.4).



**Figura 2.4 Ciclo de hidrógeno solar.**

En general, el almacenamiento de energía en baterías es adecuado para valores relativamente pequeños. Para lograr sistemas energéticos autónomos descentralizados se necesita almacenar grandes cantidades de energía, siendo el hidrógeno el candidato favorito para esta tarea.

El hidrógeno puede obtenerse de diferentes maneras: a partir de la energía térmica, eléctrica (electrolíticamente) y de manera directa (fotoquímicamente).

Para la obtención de hidrógeno a partir del agua usando la energía solar térmica, se puede utilizar la descomposición directa y el proceso termoquímico.

En el primer caso se necesita del desarrollo de materiales que sean capaces de soportar más de 2 000 grados Celsius de temperatura para disociar la molécula de agua por calor. En el segundo caso puede usarse la descomposición termoquímica, para la cual se buscan materiales reciclables eficientes y capaces de soportar muchos ciclos de oxidación - reducción. Por ejemplo, el vapor de agua a alta temperatura se hace circular a través de polvo de hierro; este se oxidará al tomar el oxígeno del vapor y quedará el hidrógeno. Es importante que el óxido de hierro pueda reducirse de nuevo para repetir el ciclo. La implementación práctica de este ciclo es muy lejana aún. [34]

La electricidad para la electrolisis puede obtenerse por diversas vías a partir de la energía solar. Con la conversión térmica, la energía eólica, la hidroenergía y otras fuentes renovables, puede producirse energía eléctrica. Para convertir esta energía en hidrogeno se necesitan los electrolizadores, equipos modulares cuya unidad es una celda electrolítica.

Aunque el hidrógeno puede obtenerse según las variantes analizadas, en la descomposición directa sólo hay una transformación de energía, y por lo tanto este es el mejor camino. El agua se puede descomponer fotoquímicamente la biofotólisis y la fotólisis. [34]

La biofotólisis es el proceso utilizado por las plantas y bacterias para descomponer el agua y tomar el oxígeno de esta. La fotólisis es el procedimiento empleado por el hombre para descomponer directamente la molécula de agua imitando las plantas. Este procedimiento está en desarrollo y se trabaja en los materiales para lograrlo. Los sistemas utilizados hasta el momento se basan en la interfase electrolito – semiconductor. [34]

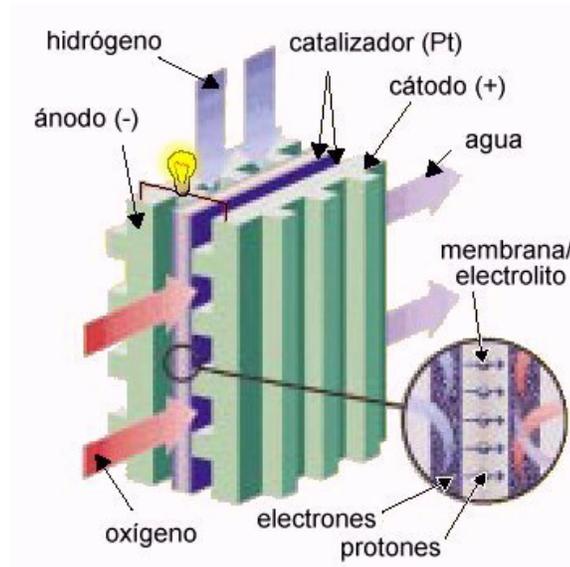
### **2.7.1 Celdas o pilas de combustibles**

Las celdas (pilas) de combustible de hidrógeno son dispositivos que producen electricidad y agua mediante el proceso inverso a la electrolisis (figura 2.5).



**Figura 2.5 Celda de combustible.**

La celda de combustible consta básicamente de una membrana intercambiadora de protones. En el seno de la misma, una segunda pared recubierta de platino disocia previamente el hidrógeno procedente de una fuente, en protones y electrones; estos reaccionan al contacto con el oxígeno procedente del aire exterior para formar agua a través de un proceso de reacción fría. El exceso y déficit de electrones y protones inherente a la reacción, origina terminales positivos y negativos que al ser conectados producen electricidad. En resumen este es el funcionamiento de una pila de combustible (figura 2.6) [27]



**Figura 2.6 Funcionamiento de una pila de combustible.**

La primera Celda de Combustible fue construida en 1839 por Sir William Grove, un juez galés y honorable científico. El verdadero interés en celdas de combustible, como un generador práctico, no vino sino hasta comienzos de los años sesenta cuando el programa espacial de los Estados Unidos seleccionó las celdas de combustible en lugar del riesgoso generador nuclear y de la costosa energía solar. Fueron celdas de combustible las que proporcionaron electricidad y agua a las naves espaciales Gemini y Apollo.

Las celdas de combustible permiten promover una diversidad de energía y una transición hacia fuentes de energía renovables. Así, una variedad de distintos combustibles pueden ser usados en éstas, combustibles tales como hidrógeno, metanol, etanol, gas natural así como gas licuado. [27]

Comparadas con las técnicas tradicionales de generación de energía que usan procesos de combustión antes de convertir el combustible en calor y energía mecánica, las células de combustible convierten la energía química del combustible directamente en energía eléctrica sin procesos de conversión intermedios. Más del 80 % de la energía obtenida de combustibles en las células de combustible pueden ser convertidos en electricidad y calor útil, además, pueden operar a la mitad de su capacidad sin bajar su alta eficiencia en el uso de combustible. [27]

Las células de combustible trabajan como una batería, con la diferencia de que jamás se descargan ya que en la medida en que se les suple hidrógeno y oxígeno, las mismas se mantendrán produciendo electricidad indefinidamente. [27]

### **2.7.2 Clasificación de las celdas de combustibles**

Las pilas de combustible pueden clasificarse atendiendo a muy diversos parámetros: temperatura de trabajo, tipo de electrolito, tipo de combustible y de oxidante, etc. El parámetro que ha predominado es el del electrolito utilizado, que a su vez condiciona la temperatura de operación. De acuerdo con este criterio, las pilas de combustible más prometedoras se clasifican de la siguiente manera:

**Pilas de polímero sólido:** estas pilas emplean como electrolito una membrana de intercambio catiónico que trabaja a una temperatura de 80 a 100 grados Celsius. Cuando se satura de agua, la membrana se vuelve conductora de protones, los cuales se transfieren del ánodo al cátodo.

**Pilas de ácido fosfórico:** este tipo de pilas se emplea ácido fosfórico concentrado como electrolito. La temperatura de trabajo debe situarse entre 160 y 220 grados Celsius. Los electrodos, a su vez, se componen de grafito fibroso con platino dispersado en su interior, el cual actúa como catalizador.

**Pilas de carbonato fundido:** como electrolitos utilizan carbonatos de litio y potasio o de litio y sodio, los cuales presentan una elevada conductividad iónica en estado fundido. Las

temperaturas de funcionamiento son lógicamente muy elevadas, en torno a 650 a 700 grados Celsius, lo que permite recoger el calor excedente para la generación adicional de electricidad. Se emplean electrodos porosos de níquel u óxido de níquel.

**Pilas de óxido sólido:** emplean materiales cerámicos porosos recubiertos de membranas de óxido de itrio y circonio como electrolitos, los cuales se ven sometidos a altas temperaturas, de hasta 1 000 grados Celsius, a las cuales adquieren conductividad iónica. El ánodo consiste en una placa compuesta de níquel y óxido de circonio, mientras que el cátodo está formado por un óxido de manganeso y lantano. [19]

### 2.7.3 Ventajas y desventajas de las celdas combustible

Las pilas de combustible ofrecen una serie de ventajas respecto a los sistemas tradicionales de producción de energía. Entre las más importantes podemos señalar:

**Alta eficiencia energética:** Las pilas de combustible no son máquinas térmicas, por lo que su rendimiento no está limitado por el ciclo de Carnot, pudiendo acercarse teóricamente al 100%. Sólo las limitaciones en el aprovechamiento de la energía generada y en los materiales empleados en su construcción impiden alcanzar este valor.

**Bajo nivel de contaminación medioambiental:** Al estar sustituida la combustión a alta temperatura de combustibles fósiles por una reacción electroquímica catalizada entre el hidrógeno y el oxígeno, no existe emisión de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos insaturados, etc.), con lo que el impacto sobre el medio ambiente es mínimo.

**Carácter modular:** La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.

**Flexibilidad de operación:** Una pila de combustible puede funcionar a alto rendimiento y sin interrupción en un amplio rango de potencias suministradas. Además, pueden realizarse variaciones rápidas de potencia; por ejemplo, es posible aumentar la potencia de una pila de combustible en un 10 % en tan sólo un segundo. En contraste, los sistemas convencionales son muy inflexibles, debiéndose mantener la carga de combustible siempre por encima del 80% para garantizar una correcta operación.

**Admisión de diversos combustibles:** Cualquier combustible es apto para ser reformado, con tal de que incluya hidrógeno en su composición. Han sido empleados con éxito combustibles tan dispares como el gas natural, el gasóleo, el carbón gasificado o el metanol.

**Funcionamiento silencioso:** Se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de una pila de combustible de tamaño medio es de tan sólo 55 decibelios. Ello sugiere el uso de estos dispositivos para la generación de energía en recintos urbanos.

**Bajo impacto estético:** Al no existir tubos de emisión de gases ni torres de refrigeración, el impacto visual de una planta de producción de energía basada en pilas de combustible es mínimo. Se ha llegado incluso a proponer su integración en edificios residenciales.

**Fiabilidad:** Los sistemas informáticos de control permiten automatizar el funcionamiento de una pila de combustible, siendo mínima la intervención manual requerida.

**Sencillez de instalación:** Las obras de infraestructura son prácticamente innecesarias.

Frente a estas ventajas evidentes, el empleo de pilas de combustible como fuente de energía eléctrica presenta algunas desventajas:

**Tecnología emergente:** Determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las pilas de combustible, especialmente en lo que respecta a su vida útil, lo que repercute en su comercialización.

**Alto costo:** Al tratarse de una tecnología en desarrollo y al existir todavía una baja demanda de unidades, su precio no puede, hoy en día, competir con el de las tecnologías convencionales. Es de esperar que, conforme la demanda se incrementa, los precios se vayan equiparando.

**Sensibilidad hacia los venenos catalíticos:** Los electrodos empleados incorporan catalizadores para favorecer el desarrollo de las reacciones electroquímicas. El contacto de estas sustancias con los llamados venenos catalíticos, tales como el monóxido de azufre o los compuestos de azufre, provoca su inactivación irreversible. En la actualidad se trabaja en la sustitución de estos catalizadores por materiales más resistentes. [19, 59]

#### **2.7.4 Tendencias y aplicaciones**

Las tendencias actuales caminan hacia la utilización de dos tipos de pilas. Las pilas de alta potencia (500 a 1 000 kW), estacionarias, trabajando a altas temperaturas para aplicar

fundamentalmente en edificaciones; y pilas de media y baja potencia (3 a 10 kW), movibles, trabajando a temperaturas intermedias. Estas pilas pueden utilizarse en automoción, como motor auxiliar, y como generadores para ciertas funciones del automóvil.

Entre las aplicaciones más comunes de las celdas de combustibles se tienen las siguientes:

**Estacionarias:** Más de 200 sistemas de celdas de combustible se han instalado alrededor del mundo en hospitales, clínicas, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas de potencia, y una terminal aeroportuaria, proveyendo potencia primaria ó de respaldo. En sistemas de edificios de gran escala, las celdas de combustible pueden reducir costos del servicio de energía de las instalaciones en un 20 % a un 40 % sobre el servicio de energía convencional.

**Residencial:** Las Celdas de Combustible son ideales para generación de potencia, ya sean conectadas a la red eléctrica para proveer potencia suplementaria y aseguramiento de respaldo para áreas críticas, o instaladas como generadores independientes de la red para servicio on-site en áreas que son inaccesibles para líneas eléctricas. El calor subproducto de una celda de combustible se puede usar para proveer agua caliente ó calefacción para una vivienda.

**Transporte:** Los grandes fabricantes automotrices desarrollan vehículos a partir de celdas de combustible (figura 2.7).



**Figura 2.7 Las celdas en la industria del automóvil.**

**Potencia Portátil:** Las celdas de combustible miniatura, una vez disponibles en el mercado comercial, ayudarán a los consumidores a usar los teléfonos celulares durante un mes sin recarga. Las celdas de combustible cambiarán el mundo de las telecomunicaciones, energizando laptops más horas que las actuales baterías. Otras aplicaciones para micro celdas de combustible incluyen cámaras videograbadoras, herramientas de potencia portátil y dispositivos remotos de baja potencia tales como aparatos para sordera, detectores de humo, alarmas contra robos, seguros en hoteles y lectores de medidores. [28]

## **CAPÍTULO 3. GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

### **3.1 Introducción**

Aunque en el primer capítulo se habló de la generación distribuida, en este se expondrán de una forma más detallada los aspectos fundamentales de esta tendencia de generación incorporada a los sistemas eléctricos de potencia.

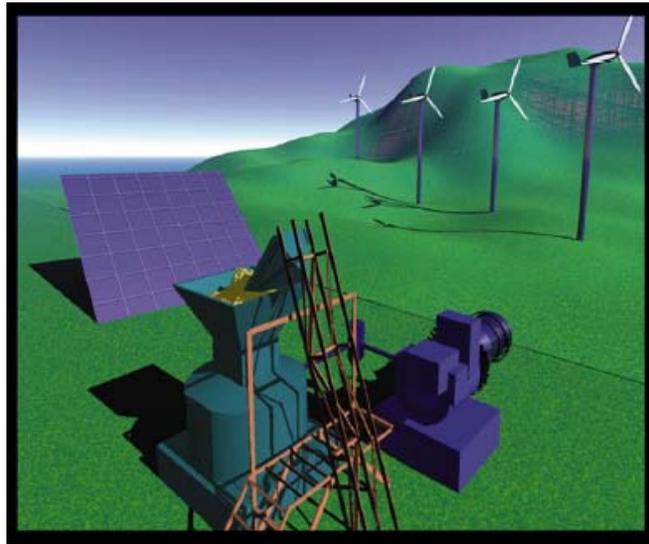
### **3.2 ¿Qué es la generación distribuida?**

Aunque no existe una definición como tal, diversos autores han tratado de explicar el concepto. Se presentan las más ilustrativas:

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1 000 kW.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.
- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando a la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados.

Es posible decir, por lo tanto, que la generación distribuida es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética. Esta forma de enfocar la generación, permite

incorporar las diferentes fuentes de energía renovables, fundamentalmente de las de menor potencia y menor complejidad de operación (figura 3.1). [5,26]



**Figura 3.1 Generación distribuida a partir de fuentes renovables.**

### **3.3 ¿Por qué la generación distribuida?**

Como se dijo en el primer capítulo, la generación distribuida representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada.

En los años setenta, factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y gran demanda de energía eléctrica a nivel mundial, plantearon la necesidad de alternativas tecnológicas para asegurar, por un parte, el suministro oportuno y con calidad de la energía eléctrica y, por otra, el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales. [42]

Una de estas alternativas tecnológicas ha sido generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar de consumo (precisamente como se hacía en los principios de la industria eléctrica), incorporando ahora las ventajas de la tecnología moderna y el respaldo eléctrico de la red del sistema eléctrico, para compensar cualquier requerimiento adicional de compra o venta de energía eléctrica. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como generación dispersa, o más cotidianamente, generación distribuida. [26, 41,42]

### **3.4 Rango de la generación distribuida**

El rango en capacidad instalada de generación distribuida, varía aún más que la propia definición; es bastante subjetivo el criterio para calificar a sus instalaciones como “relativamente más pequeñas a las centrales de generación”. En la literatura se manejan diferentes rangos: menores a 500 kW; mayores a 1 000 kW y menores a 5 000 kW; menores a 20 000 kW; menores a 100 000 kW; e inclusive de tan sólo unos cuantos kW, por ejemplo 3 kW. [42]

No obstante lo anterior y con el afán de establecer una capacidad de acuerdo con las características de la generación eléctrica, se puede decir que, en lo que respecta a tecnologías disponibles, la capacidad de los sistemas de generación distribuida pueden variar desde cientos de kW hasta 10 000 kW. [42]

### **3.5 Tecnologías aplicadas a la generación distribuida**

El éxito de la difusión y fomento de la generación distribuida ha sido posible solo en nuestros días debido a la existencia de tecnologías de punta que permiten, para potencias pequeñas, generar energía eléctrica en forma eficiente, confiable y de calidad.

Las tecnologías de generación se dividen en convencionales y no convencionales. Las primeras incluyen a las turbinas de gas, motores de combustión interna y microturbinas. Las segundas se refieren a las energías no renovables, como la minihidráulica, geotérmica y biomasa, las turbinas eólicas, celdas de combustibles y celdas fotovoltaicas. [26,41]

### **3.6 Requerimientos técnicos de la generación distribuida**

Los requerimientos técnicos de la generación distribuida son los siguientes:

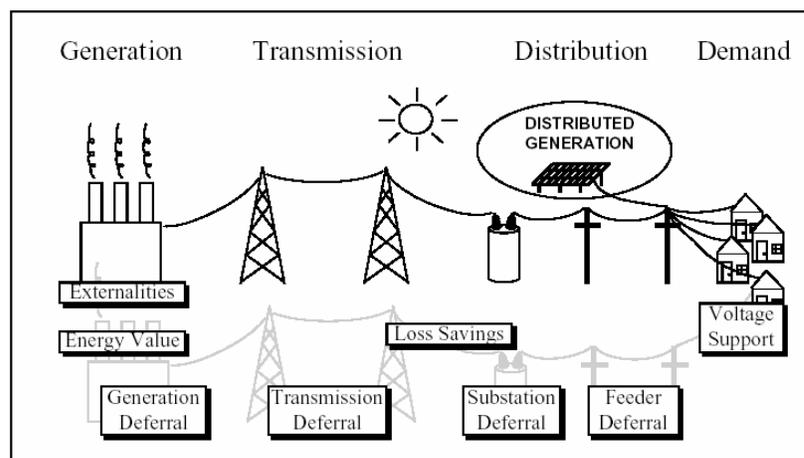
1. Incorporar fuentes generadoras de alta tecnología junto a las tradicionales.
2. Cambios en los conceptos de operación de los sistemas eléctricos.
3. Cambios en los conceptos de operación de los sistemas industriales.
4. Interfaz con las redes (desarrollo de la electrónica de potencia).
5. Operación y control de la generación.
6. Regulación de voltaje.
7. Respaldo de los sistemas eléctricos.

Estos son de manera general los requisitos técnicos a implementar para el buen funcionamiento de un sistema a partir de la generación distribuida. [26, 41,42]

### 3.7 Ventajas y desventajas de la generación distribuida

El auge de los sistemas de generación distribuida se debe a las ventajas que esta tecnología brinda, tanto para el usuario como para la red eléctrica. Entre estas ventajas se encuentran las siguientes:

- Para el usuario produce un aumento en la fiabilidad del suministro de energía, pues se reduce el número de interrupciones.
- Brinda una energía con mayor calidad al encontrarse las fuentes más cercanas al consumidor.
- Las caídas de voltaje son mucho menores.
- Fuerte tendencia a reducir los costos.
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio donde se instalan las fuentes.
- Disminución de las emisiones contaminantes al hacer uso de las energías renovables, implicando un menor impacto medioambiental.
- Atrasa las grandes inversiones (figura 3.2). [36]



**Figura 3.2 La generación distribuida posibilita el atraso de las grandes inversiones.**

Para el suministrador:

- Reduce las pérdidas de transmisión y distribución.

- Abastece zonas remotas.
- Libera capacidad del sistema.
- Proporciona mayor control de la energía reactiva.
- Mejor regulación de voltaje.
- Reduce el índice de fallas.
- Retarda las inversiones. [36]

Las principales desventajas que actualmente impiden la implementación y el crecimiento de los sistemas de generación distribuida son las siguientes:

**Barreras Tecnológicas:** Todavía existe una falta de conocimiento de las tecnologías de generación distribuida; muchas de ellas aún están en etapa de investigación con un alto costo asociado.

**Redes de distribución típicamente radiales:** Están diseñadas para llevar el flujo de energía en una sola dirección, mientras que la generación distribuida implica que los flujos de potencia se muevan en ambas direcciones, por lo tanto surge la necesidad de tener sistemas de distribución enmallados o en anillo.

**Barreras de regulación y de mercado:** En la muchos países subdesarrollados, los sistemas regulatorios no consideran a la generación distribuida como un aspecto diferente a la generación convencional, y no se ven estimuladas (no incluye a Cuba). [36]

### 3.8 Aplicaciones de la generación distribuida

La aplicación de una u otra tecnología en la generación distribuida depende de los requerimientos particulares del usuario. Los arreglos tecnológicos más usuales se citan a continuación:

**Carga base:** Se utiliza para generar energía eléctrica en forma continua; opera en paralelo con la red de distribución; puede tomar o vender parte de la energía, y usa la red para respaldo y mantenimiento.

**Proporcionar carga en el horario pico:** Se utiliza para suministrar energía eléctrica en períodos pico, con lo que apoya al Sistema Eléctrico en la hora de la demanda máxima.

**Soporte a la red de distribución:** A veces en forma eventual o bien periódicamente, la empresa eléctrica requiere reforzar su red eléctrica instalando pequeñas plantas, incluida la

subestación de potencia, debido a altas demandas en diversas épocas del año, o por fallas en la red.

**Almacenamiento de energía:** Se puede tomar en consideración esta alternativa cuando es viable el costo de la tecnología a emplear, las interrupciones son frecuentes o se cuenta con fuentes de energía renovables. [26, 41]

### **3.9 Tendencias y futuro de la generación distribuida**

Las ventajas de la generación distribuida conjuntamente con el actual avance tecnológico hacen posible que la aplicación de esta forma de generación de energía eléctrica se extienda cada día más por todo el mundo. Como se mencionó anteriormente, la generación distribuida es el marco perfecto para la utilización de las fuentes de energía renovables, siendo esta su principal tendencia, aunque también las fuentes tradicionales se insertan en esta aparentemente nueva modalidad de producir energía eléctrica. Las energías renovables han hecho posible el desarrollo de la generación distribuida a escalas mayores que las existentes hace algunos años. Se estima, según los especialistas en el tema, que para la próxima década, el uso de la generación distribuida alcance valores cercanos al 40% de toda la producción de electricidad a nivel mundial. Esta tendencia a la generalización de la generación distribuida contribuirá al ahorro de energía, la cual proviene principalmente de los combustibles fósiles, lo que se traduce en menores daños para el medioambiente y una menor dependencia de las fuentes tradicionales de energía las cuales son sustituida, aunque todavía en pequeña medida, por fuentes renovables. [5, 26, 30]

## CONCLUSIONES

Después de exponer los aspectos de mayor relevancia se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El uso irracional de los combustibles fósiles, proveedores de nuestras principales demandas energéticas, ha creado grandes problemas al medioambiente como las lluvias ácidas, el efecto invernadero, el calentamiento global, entre otros.
- De igual forma, los combustibles nucleares, crean también grandes problemas a la hora de dar un tratamiento a los desechos radiactivos producto de su utilización. Esta fuente energética es, además altamente riesgosa.
- Las fuentes de energía tradicionales (petróleo, carbón, gas natural y nuclear) llegarán a verse en una situación de déficit e incluso, agotadas, aunque se tomen medidas para su uso racional.
- Las fuentes de energía renovables son la solución al problema energético del futuro, al ser inagotables y limpias, por lo que crean muy bajo impacto al medioambiente.
- El uso de las fuentes renovables está siendo cada vez de mayor ayuda para el hombre, sobre todo desde que se usan como contribuyentes a la generación de energía eléctrica, ejemplo de ello son los países europeos.
- La generación distribuida es una nueva forma de producir energía eléctrica que se impone en el mundo debido a las grandes ventajas que brinda, al poder generarla a partir de las fuentes no renovables y renovables en lugares próximos a los de consumo. Esta forma de generación tendrá su mayor impacto a partir de la próxima década, donde se considera que entre un 25 y un 40 % de las nuevas plantas que se construyan será mediante esta modalidad.

## **Recomendaciones**

- Dadas las posibilidades reales de la implementación de la generación distribuida en nuestro país, es necesario comenzar la educación general de la población acerca de las realidades, posibilidades y bondades de este sistema de generación.
- Puesto que serán los ingenieros de distribución los principales encartados con estos proyectos, deben implementarse la capacitación de estos especialistas en esta rama.
- Corresponde a los Centros Punteros en el campo de la energía, mantener la vigilancia tecnológica sobre todo lo que se realiza y se avanza en el mundo en este campo.
- Deben comenzarse planes de generación distribuida a escala reducida para ganar experiencias en estas tecnologías, aunque inicialmente no sean económicamente sustentadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Biomasa,  
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/biomasa.htm>., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (2) Energía de la biomasa,  
<http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/biomasa.htm>., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (3) Acosta, S., (2001).Biomasa, [http://www.rnw.nl/informarn/html/cie010406\\_biomasa.html](http://www.rnw.nl/informarn/html/cie010406_biomasa.html)., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (4) Biomasa,  
[http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E\\_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp](http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp)., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (5) (2003).Generación Distribuida,  
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1917>., accedido el 3 de Abril del 2004.
- (6) Merch, S.C. Energía de la biomasa, <http://waste.ideal.es/biomasa.htm>., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (7) CIEMAT. (2003). Combustibles fósiles,  
[http://www.ciemat.es/departamentos/dep\\_comfos.htm](http://www.ciemat.es/departamentos/dep_comfos.htm) ., accedido el 3 de Abril del 2003.
- (8) Energía de biomasa,  
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/170EnBiom.htm> ., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (9) Energía solar fotovoltaica,  
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Trabajos/esolar/fv.htm>., accedido el 3 de Abril del 2004.
- (10) Energía solar pasiva,  
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Trabajos/esolar/pasiva.htm> ., accedido el 3 de Abril del 2004.
- (11) Tecnologías independientes y no contaminantes,  
<http://www.solartec.org/SVEolica.htm> ., accedido el 3 de Abril del 2004.
- (12) Energía,  
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/100Energ%C3%ADa.htm> ., accedido el 2 de Abril del 2004.
- (13) (2001). Energías renovables, <http://www.nodo50.org/panc/Ere.htm> ., accedido el 2 de Abril del 2004.

- (14) (2004). Energías renovables: Hacia un futuro mejor, <http://www.rebelion.org/otromundo/040202energia.htm>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (15) (2003). Energías renovables, <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=2046>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (16) Ortega, M. Energías renovables, <http://www.enbuenasmanos.com/ARTICULOS/muestra.asp?art=243>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (17) (2003). Fuentes de energía, <http://www.librys.com/centralelectrica/>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (18) (2003). Biomasa, [http://www.cne.cl/fuentes\\_energeticas/e\\_renovables/biomasa.php](http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables/biomasa.php). , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (19) García, G. (2003). Pilas de hidrógeno, [http://cultura.terra.es/cac/ciencia/consulta/portada.cfm?consulta\\_id=276](http://cultura.terra.es/cac/ciencia/consulta/portada.cfm?consulta_id=276). , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (20) Pérez, F.E. (2001). Hidrógeno: Combustible del futuro, <http://www.eco2site.com/informes/hidrogeno.asp>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (21) (2002). Introducción a las energías renovables, <http://www.solener.com/intro.html>. , accedido el 2 de Abril del 2004.
- (22) (2001). La biomasa, <http://www.enbuenasmanos.com/ARTICULOS/muestra.asp?art=697>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (23) (2002). La energía solar y el agua caliente, <http://www.enbuenasmanos.com/ARTICULOS/muestra.asp?art=954>. , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (24) (1999). Verdades sobre la generación de energía eléctrica por vía electroquímica, <http://www.iie.org.mx/reno99/apli.pdf>. , accedido el 14 de Abril del 2004.
- (25) (2003). Las fuentes de energía, [http://www.edualter.org/material/consumo/energia4\\_1.htm](http://www.edualter.org/material/consumo/energia4_1.htm). , accedido el 7 de Abril del 2004.
- (26) (1999). Generación distribuida, <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=2452>. , accedido el 8 de Abril del 2004.
- (27) (2003). Pilas de combustible, <http://www.monografias.com/trabajos11/pila/pila.shtml>. , accedido el 8 de Abril del 2004.

- (28) Gómez, P. (2002). Energía sin humos, <http://www.cienciateca.com/fuelcells.html> ,  
accedido el 10 de Abril del 2004.
- (29) (2003). Energías renovables, <http://www.mbertoni.org.py/energia.htm> , accedido el  
12 de Abril del 2004.
- (30) Aranda, Borghero. E. (2002). Impacto de la generación distribuida,  
[http://146.83.6.6/bdmc/literatura/Memoria\\_earana.pdf](http://146.83.6.6/bdmc/literatura/Memoria_earana.pdf) , accedido el 12 de Abril del 2004.
- (31) (1999). Energía solar,  
<http://revista.consumer.es/web/es/19990901/medioambiente/31089.php> , accedido el 13  
de Abril del 2004.
- (32) (2003). Los fantasmas de las energías renovables,  
<http://revista.robotiker.com/articulos/articulo75/pagina1.jsp> , accedido el 21 de Abril del  
2004.
- (33) (2002). Combustibles fósiles,  
<http://www.tecnociencia.es/especiales/energia/9.htm> . accedido el 12 de Abril del 2004.
- (34) (2003). Hidrógeno: Combustible del futuro,  
<http://www.uch.ceu.es/principal/conferencias/hidrogeno/inicio.asp> , accedido el 18 de Abril  
del 2004.
- (35) (2001). Ventajas de la energía eólica, <http://alipso.com/monografias/canaenergia/> ,  
accedido el 3 de Abril del 2004.
- (36) (2003). Ventajas de la generación distribuida,  
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1680> , accedido el 8 de Abril del  
2004.
- (37) (2001). Energía y fuentes de energía, [http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-  
0226-01/capitulo1.html](http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo1.html) , accedido el 3 de Abril del 2004.
- (38) (2003). La biomasa,  
<http://www.geoscopio.org/medioambiente/temas/tema10/10ventajasintro.php> , accedido el  
12 de Abril del 2004.
- (39) Merche, S.C. (2002). Energía de la biomasa, <http://waste.ideal.es/biomasa.htm> ,  
accedido el 4 de Mayo del 2004.
- (40) (2001). Biomasa,  
[http://www.cne.cl/fuentes\\_energeticas/e\\_renovables/biomasa.php](http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables/biomasa.php) , accedido el 4 de Mayo  
del 2004.
- (41) (2001). Distributed generation, <http://www.distributed-generation.com/> , accedido  
el 6 de Abril del 2004.
- (42) (2003). Distributed generation, <http://www.ul.com/dge/> , accedido el 6 de Abril del  
2004.

- (43) (2003). Distributed generation: The power paradigm for the New Millennium, [http://www.engnetbase.com/ejournals/books/book\\_summary/summary.asp?id=755](http://www.engnetbase.com/ejournals/books/book_summary/summary.asp?id=755). ,  
accedido el 6 de abril del 2004.
- (44) (2002). Solar energy, <http://www.solarenergy.org/>. , accedido el 4 de Abril del 2004.
- (45) (2004). Solar technologies, <http://www.eren.doe.gov/RE/solar.html>. , accedido el 4  
de Abril del 2004.
- (46) (2004). About solar energy, [http://www.nrel.gov/clean\\_energy/solar.html](http://www.nrel.gov/clean_energy/solar.html). , accedido  
el 4 de Abril del 2004.
- (47) (2003). Solar water heater, <http://www.solarenergy.com/>. , accedido el 6 de Abril  
del 2004.
- (48) Gero, Di Piazza." Power from waste", *Power Engineering*, 10, (12): pp 30-31.
- (49) Charlotte, Gliddon-Bush."Switching on to offshore", *Power Engineering*, 10, (6): pp  
43-47.
- (50) PEi report. "On the rice track", *Power Engineering*, 10, (12): pp 99-101.
- (51) PEi report. "A matter of waste", *Power Engineering*, 10, (12): pp 105-109.
- (52) Paul van Lieshout. "Wind Power: Perseverance pays off", *Power Engineering*, 8,  
(10): pp 59-63.
- (53) Howard Bell. "Distributed Generation", *Power Engineering*, 8, (10): pp 67-71.
- (54) Christie, Hangey."Renewable Energy: A green future", *Power Engineering*, 10, (2):  
pp 20-24.
- (55) Charlotte, Gliddon-Bush. "Catching rays", *Power Engineering*, 10, (2): pp 32-33.
- (56) PEi report." Offshore success", *Power Engineering*, 9, (8): pp 28-29.
- (57) Sanna Alitalo and Tauno Kuitunen. "Biomass Power Plant", *Power Engineering*, 9,  
(10): pp 35-37.
- (58) Tormala, V.P. "Biomass power plant: Rich in the rice", *Power Engineering*, 8, (8):  
pp 82-86.
- (59) Charlotte Gliddon-Bush. "Household Power System", *Power Engineering*, 8, (8): pp  
24-26.
- (60) Gero Di Piazza. "Down on the ranch", *Power engineering*, 10, (4): pp 28-29.
- (61) Refocus report. "Windmills below the sea", *refocus*, March/April 2004: pp 46-50.
- (62) Refocus report. "Biomass News", *refocus*, March/April 2004: pp 14.