

Energías renovables

1	¿Qué son las energías renovables?	3
1.1	¿Qué fuentes de energía renovables hay?	3
1.2	¿Tienen las fuentes de energía renovables principalmente ventajas o desventajas?.....	4
2	Naturaleza limitada de los recursos	4
2.1	¿Cuán grande es la participación de las fuentes de energía renovables hoy en día?	4
2.2	¿Cuánto durarán los recursos fósiles y nucleares?.....	5
2.3	¿Cómo está afectando el cambio climático los recursos energéticos?.....	5
3	La energía solar como fuente última	5
4	Biomasa.....	6
4.1	¿Qué significa biomasa?	6
4.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la biomasa	6
4.3	Tecnologías utilizadas con la biomasa.....	6
4.4	Desventajas y límites de la biomasa	7
5	Agua	8
5.1	¿Qué es la energía hidráulica?	8
5.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía hidráulica	8
5.3	Tecnologías utilizadas con la energía hidráulica	9
5.4	Desventajas y límites de la energía hidráulica	10
6	Viento	10
6.1	¿Qué es la energía eólica?	10
6.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía eólica	11
6.3	Tecnologías utilizadas con la energía eólica	11
6.4	Desventajas y límites de la energía eólica	11
7	Calor solar (energía térmica solar).....	12
7.1	¿Qué es calor solar o energía térmica solar?	12
7.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía térmica solar	12
7.3	Tecnologías utilizadas con energía térmica solar.....	13
7.3.1	Cómo usar calor solar directamente con colectores.....	13
7.3.2	Cómo usar el calor solar indirectamente con bombas de calor	14
7.3.3	Cómo utilizar el calor solar a través de medidas arquitectónicas	14
7.3.4	Plantas de energía solar térmicas.....	15
7.4	Desventajas y límites de la energía térmica solar	16
8	Luz solar (central eléctrica fotovoltaica)	16
8.1	¿En qué consiste la tecnología fotovoltaica?	16
8.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la tecnología fotovoltaica	17
8.3	Tecnologías utilizadas con la tecnología fotovoltaica	18
8.4	Desventajas y límites de la tecnología fotovoltaica	18
9	Energía geotérmica.....	18
9.1	¿Qué es la energía geotérmica?.....	18
9.2	Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía geotérmica	19
9.3	Tecnologías utilizadas con energía geotérmica	19
9.4	Desventajas y límites de la energía geotérmica	20
10	Almacenamiento de energía.....	20
10.1	Depósitos de energía térmica	20

10.2	Medios de almacenamiento para energía mecánica	21
10.3	Depósitos de energía química	22
10.4	Depósito de energía eléctrica	23
10.5	Depósito de energía magnética	23

Esta guía brinda una introducción detallada al tema de las “energías renovables”. Se enumeran las varias energías renovables en el orden en que fueron utilizadas históricamente por el hombre. Para cada forma de energía se discuten los criterios siguientes:

- **Explicación**
Definición y explicación de la fuente de energía, incluidos los aspectos históricos, si fuera pertinente.
- **Disponibilidad y potencial de sustitución**
¿Cuántas de estas fuentes de energía están disponibles a nivel mundial y cómo están distribuidas geográficamente? ¿Qué porcentaje de las fuentes de energía fósil y nuclear utilizadas hasta la fecha serían reemplazadas por estas fuentes de energía renovables y dentro de cuánto tiempo?
- **Tecnologías utilizadas**
y sus antecedentes científicos más importantes.
- **Desventajas y límites**

Adicionalmente, también hay un capítulo sobre almacenamiento de energía, el cual es particularmente importante para las energías renovables.

1 ¿Qué son las energías renovables?

Regeneración significa literalmente “renovación”. Una fuente de energía renovable es una fuente que se “renueva a sí misma”, por así decirlo. Eso no sucede estrictamente, ya que la energía no se puede producir ni consumir ni renovar, sino sólo convertir.

Sin embargo, las reglas lingüísticas para describir ciertas fuentes de energía como “renovables” son correctas. Porque son fuentes de energía, de las que, según los criterios humanos, una cantidad inagotable de energía continúa fluyendo durante un tiempo extremadamente largo, más energía de la que los seres humanos pueden utilizar. A este respecto, no importa si la madera se quema cuando los árboles crecen de nuevo debido a la radiación solar; o si, por ejemplo, la radiación del Sol calienta el suelo, del cual la bomba de calor extrae luego calor, el cual el Sol vuelve a suministrar; o si un sistema fotovoltaico convierte constantemente la radiación en energía eléctrica, porque el Sol brilla durante otros 5000 millones de años.

El término “fuentes de energía renovables” fue acuñado como contraste a las fuentes de energía fósil y nuclear, las cuales serán agotadas por el hombre en un período de tiempo previsible. Las fuentes de energía renovables, por otro lado, son prácticamente inagotables en términos humanos.

1.1 ¿Qué fuentes de energía renovables hay?

Las fuentes de energía renovables incluyen:

- Luz solar (tecnología fotovoltaica)
- Calor solar (energía térmica solar incluidas las fuentes geotérmicas cerca de la superficie)
- Biomasa (plantas, madera, biogases)
- Agua (energía hidráulica)
- Viento
- Energía geotérmica (energía geotérmica profunda)

1.2 ¿Tienen las fuentes de energía renovables principalmente ventajas o desventajas?

Una de las ventajas de las energías renovables citada a menudo, además de su inagotabilidad, es el hecho de estar distribuidas uniformemente a través del planeta. A diferencia de las fuentes de energía fósil y nuclear, tales como carbón, petróleo, gas natural y uranio, esto parece ser cierto. Pero un mayor escrutinio muestra, por ejemplo, que la energía hidráulica y el viento no están disponibles en la misma medida a través del globo. Y tampoco se pueden usar los rayos solares económicamente como energía térmica solar, al menos para la generación de energía eléctrica, en muchas regiones. Por lo tanto, esta es una ventaja relativa en el mejor de los casos. Sin embargo, el uso de energías renovables puede ofrecer una ventaja clara para la economía nacional pertinente, puesto que reduce la dependencia en importaciones de energía. En el 2005, por ejemplo, el grado de dependencia en petróleo importado en la Unión Europea (UE) fue alrededor del 80 % y alrededor del 66 % en los EE. UU. (Fuentes: EU Green Paper on Energy Safety y la Oficina de Relaciones Exteriores de Alemania).

Una de las desventajas de las energías renovables citada a menudo es su baja “densidad de potencia”. Esto es cierto, hasta cierto punto, puesto que la luz solar que hace muchos millones de años se está utilizando ahora, por así decirlo, en una forma acumulada, concentrada, como petróleo, gas natural o carbón. Para generar 3,5 MWh de energía eléctrica, por ejemplo, una central eléctrica [caldeada] a carbón necesita alrededor de 1 tonelada de carbón, pero una central eléctrica fotovoltaica que cubra al menos una hectárea en Europa Central necesita un día soleado promedio. Cabe considerar, no obstante, que el uso económico de, por ejemplo, el carbón (fuente de energía fósil) o el uranio (fuente de energía nuclear) requieren centrales eléctricas centralizadas de gran escala. Los sistemas eólicos y fotovoltaicos, por otro lado, también se pueden utilizar económicamente en plantas descentralizadas relativamente pequeñas. Si también se utilizaran, por ejemplo, las fachadas de grandes edificios de oficinas y naves industriales, casi la totalidad de la demanda energética de un país de Europa Central podría ser cubierta con centrales eléctricas fotovoltaicas solamente. Con un precio de producción de electricidad no subvencionado de desde 7 céntimos/kWh, la energía de central eléctrica fotovoltaica ya se ha vuelto más barata que la electricidad de turbina de gas para 2016. La energía eólica en tierra a partir de las nuevas turbinas eólicas ubicadas en forma óptima se ha convertido ya en la fuente de electricidad más barata, a 4,5 céntimos de euro por kWh.

La disponibilidad fluctuante de las fuentes de energía renovables, tales como agua, viento y Sol, en comparación con fuentes de energía tradicionales, tales como carbón, petróleo, gas y uranio, también es una desventaja. Estas irregularidades en la generación de energía eléctrica deben ser compensadas mediante la expansión de la red de distribución de energía eléctrica y la construcción de almacenamientos de energía.

2 Naturaleza limitada de los recursos

2.1 ¿Cuán grande es la participación de las fuentes de energía renovables hoy en día?

En el 2014, sólo aproximadamente el 22 % del consumo mundial de las fuentes de energía primaria estuvo cubierto por fuentes renovables. De esto, la biomasa aún constituye la mayor participación de energía renovable. Sin embargo, en el 2005, el porcentaje de energía eléctrica generada con energía hidráulica renovable fue en realidad de un 16 % a nivel mundial. El consumo de fuentes de energía fósiles y renovables se divide de manera muy distinta entre la industria, el transporte y los hogares privados. En 2001, el petróleo representó el 28 % del

consumo total de energía en los EE. UU., pero el 70 % del consumo total de energía en el transporte.

2.2 ¿Cuánto durarán los recursos fósiles y nucleares?

Una estimación optimista del año 2005 indica que, según cifras de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), las reservas mundiales de fuentes de energía no renovables durarán aproximadamente: 190 años para carbón, 40 años para petróleo, 60 años para gas natural y alrededor de 100 años para uranio. El archivo de medios (hoja informativa) “Vista general de las fuentes de energía” brinda más datos estadísticos y resúmenes.

Según los estudios más recientes de la IEA en el 2007, sin embargo, el consumo de energía mundial aumentará nuevamente en aproximadamente un 60 % al año 2030, un hecho que no se había tomado en cuenta. Los escépticos están asumiendo, por lo tanto, que los recursos recién mencionados no durarán todo el tiempo previsto, especialmente si no hay certeza sobre la factibilidad económica real de explotar las fuentes que aún no se han utilizado. En efecto, si aumentan el tiempo y esfuerzo técnicos en la obtención de fuente de energía fósil, aumentan también los costos y por lo tanto los precios. Resulta cuestionable si la industria y los consumidores finales pueden pagar el precio. Por ejemplo, el aumento de los precios del acero y del carbón ya desencadenó una crisis económica en 2007, pero apenas se la notó debido a la posterior crisis financiera.

2.3 ¿Cómo está afectando el cambio climático los recursos energéticos?

La combustión de carbón, petróleo y gas natural (fuentes de energía fósil) emiten dióxido de carbono (CO₂), el cual contribuye al aumento del efecto invernadero, y, por ende, al calentamiento global. Por lo tanto, los políticos están realizando esfuerzos a nivel internacional para restringir el uso de combustibles fósiles o, al menos, para hacerlo más eficaz y reemplazar estos combustibles a mediano y largo plazo con fuentes de energía renovables, debido a que el Sol, el viento, el agua y las fuentes geotérmicas no emiten dióxido de carbono al utilizárselas, o son al menos de emisión de CO₂ neutra, como la biomasa. Esto también es pertinente, en principio, para la energía nuclear, aunque aquí existe el problema de los desechos radiactivos. En todo caso, el tiempo es cada vez mucho más corto que lo generalmente aceptado. Las centrales termoeléctricas se utilizan para fuentes de energía tradicionales, tanto fósiles como nucleares. Éstas necesitan dispositivos de enfriamiento. Generalmente, por el momento se utiliza agua de río para enfriamiento, puesto que, aunque el enfriamiento con aire o agua de mar es técnicamente posible, es más complicado y caro. Sin embargo, a medida que el agua económica de río escasea cada vez más debido al cambio climático, las centrales térmicas de gran escala que utilizan tecnología de enfriamiento tradicional quedarán ociosas. En el caluroso verano de 2006, por ejemplo, casi todos los reactores nucleares franceses se detuvieron y Francia debió comprar electricidad renovable de Alemania hasta por 2 euros por kWh. En el seco verano de 2015, se pararon en Polonia las centrales eléctricas a lignito; aquí también la electricidad renovable de Alemania fue un salvavidas. Como resultado del cambio climático, el uso de fuentes de energía tradicionales en centrales térmicas, centrales nucleares y centrales eléctricas de agua fluyente será cada vez más caro. Por otro lado, el uso de fuentes de energía renovables siempre resulta más económico.

3 La energía solar como fuente última

Aparte de la energía geotérmica profunda, el Sol, o su radiación, es la fuente última de todas las fuentes de energía renovables en la Tierra. Esto es pertinente a la biomasa formada por fotosíntesis de los rayos del Sol, al ciclo de agua causado por el calor del Sol y la energía

hidráulica utilizable resultante y a los vientos creados por el calor solar. Asimismo, se puede usar directamente la radiación solar como calor (energía térmica solar), o bien, mediante conversión fotovoltaica, como energía eléctrica. La energía radiada por el Sol es indiscutiblemente la mayor fuente de energía renovable. Cada año, como promedio mundial, el Sol irradia un volumen de energía de aproximadamente $1,56 \cdot 10^{18}$ kWh ($5,6 \cdot 10^{24}$ J) sobre la superficie de la Tierra. Esto es más de 10 000 veces la demanda mundial de energía primaria. En orden de importancia de energías renovables, la energía geotérmica (energía geotérmica profunda) ocupa el segundo lugar, seguida por la energía mareomotriz (efectos de la Luna, rotación de la Tierra).

4 Biomasa

La más antigua de cualquiera de las fuentes de energía utilizada por el hombre es la biomasa. Tradicionalmente, desde que se descubrió el fuego, inicialmente el hombre sólo usó biomasa renovable en la forma de madera; más tarde, en las llanuras donde la madera era escasa utilizó el estiércol de sus animales domésticos como combustible.

4.1 ¿Qué significa biomasa?

En los productos de biomasa primarios, la radiación solar se convierte mediante las plantas en materia orgánica a través del proceso de la fotosíntesis. Así, la biomasa representa energía solar almacenada. La principal ventaja de usar energía de biomasa es la reducción de las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera: la madera u otras fuentes biogénicas de energía inicialmente capturaron de la atmósfera el dióxido de carbono almacenado en ellas durante su crecimiento. Después de habérselas quemado, se reintegra completamente el dióxido de carbono formado si la vegetación renovable se utiliza sustentablemente.

4.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la biomasa

De la energía solar que ilumina la Tierra, sólo aproximadamente el 0,01 % se almacena en la Tierra a largo plazo. La naturaleza almacena más del 99,9 % por sí misma a través de la fotosíntesis en la forma de biomasa. Pero de la biomasa, “sólo” aproximadamente el 10 % de nuestra demanda de energía primaria se satisface actualmente a nivel mundial. Podría parecer posible aumentar este porcentaje, pero si se examina más de cerca, la biomasa no representa una fuente adicional factible de energía renovable, en términos globales. Véase también a continuación el capítulo sobre “Desventajas y límites de la biomasa”.

4.3 Tecnologías utilizadas con la biomasa

Biodiésel

Los aceites vegetales, especialmente el aceite de colza y el aceite de palma, pueden reemplazar diésel (combustible fósil) de forma relativamente económica. Sin embargo, la calidad de los aceites vegetales no tratados es inadecuada en lo que respecta a la duración útil en el almacenaje e idoneidad para su uso en el invierno. Por ello, aún es necesario convertirlos químicamente en sustancias cuyo aprovechamiento se pueda optimizar técnicamente. En muchas regiones del mundo, Alemania incluida, se han construido plantas altamente tecnificadas para dicho cometido. (Para el profesorado de química: la producción de biodiésel en el aula es un gran ejemplo de esterificación o transesterificación. Se necesita aceite de colza del supermercado, metanol e hidróxido de sodio).

Gasificación de la madera

Si se destila en seco o se carboniza la madera con agua agregada, se producen gases aptos para la combustión. Durante y después de la Segunda Guerra Mundial se empleó este proceso para fabricar un sustituto de la gasolina para la operación de automóviles y camiones. Modernos procesos basados en tecnologías sumamente avanzadas, tales como el proceso de gasificación integrada (GI) son utilizados no sólo en centrales eléctricas de gran escala para gasificación de carbón y combustóleo, sino que también son idóneos para la gasificación de madera y otras sustancias orgánicas. La ventaja es que éste produce una mezcla sumamente pura de hidrógeno y monóxido de carbono, que puede sustituir el gas natural en la operación de turbinas a gas de alta eficiencia, las cuales consiguen mejores valores de gases de escape que una central eléctrica convencional con combustión directa durante la cocción de la caldera de vapor.

Biogás

Los residuos orgánicos que contienen carbohidratos y celulosa, tales como estiércol, purines, paja y granos como maíz y trigo se descomponen anaeróbicamente (sin aire). Se puede utilizar directa y localmente el “biogás” así creado para generar energía eléctrica, con motores diésel. Después de la purificación, también se puede utilizar el biogás en la red pública de gas. Para que el proceso funcione eficientemente, las concentraciones, temperaturas y valores de pH han de ser controladas con suma precisión. Se han desarrollado ahora tecnologías sofisticadas para centrales de biogás de todo tamaño.

4.4 Desventajas y límites de la biomasa

La biomasa, desde un punto de vista ecológico, no es necesariamente más compatible que las fuentes de energía fósiles. Las bioenergías están limitadas, por ejemplo, por las áreas de superficie disponibles y las condiciones de crecimiento requeridas por la vegetación productora de energía. La competencia entre plantas para alimento y plantas para energía tiene entonces un efecto negativo en la estructura de la agricultura. Por ejemplo, los incentivos pagados por importaciones de aceite de palma de áreas de cultivo tropicales conducen al daño climático ahí y a la interrupción de las pautas económicas regionales, lo cual causa un desequilibrio en el comercio y un debilitamiento de la agricultura doméstica. En el cultivo y procesamiento de biomasa, las imposiciones sobre el medio ambiente, tales como la fertilización excesiva, acidificación y erosión causadas por el procesamiento mecánico del suelo utilizado para propósitos agrícolas, son factores negativos en términos ecológicos. Además está el impacto sobre el medio ambiente de los herbicidas, fungicidas y pesticidas. Si la escasez de agua fresca, así como la desertificación y desolación de extensas áreas de terreno aumentan a nivel mundial, esto se debe sólo parcialmente al cambio climático. Este proceso se ve considerablemente fortalecido por la deforestación y quema de selvas tropicales, principalmente ahora, para el cultivo de caña de azúcar y plantas oleaginosas para la producción de bioalcohol y biodiésel como combustibles “renovables”.

Se debe admitir que algunos biocarburantes presentan una reducción de más de un tercio en la producción de gases de efecto invernadero que la gasolina o el diésel. Sin embargo, en Europa Central o en los Estados Unidos, el aumento en el cultivo de colza, por ejemplo, conduce a una mayor emisión de óxido nitroso (N_2O), potente gas de efecto invernadero ¡que afecta 310 veces más que el CO_2 !, como resultado del uso de fertilizantes basados en nitrógeno. En países tropicales, por ejemplo, el despeje por desbroce y quema de bosques tropicales produce grandes cantidades de CO_2 , lo cual a su vez causa un aumento en la contaminación del aire por hollín y otros gases residuales peligrosos, tales como óxidos de nitrógeno, aerosoles o dioxinas y una pérdida de diversidad biológica de la flora y la fauna.

En regiones donde la silvicultura es una industria importante y los productos residuales no han sido aprovechados hasta hoy, o donde terrenos baldíos no utilizados están disponibles, el mayor uso de biomasa podría tener sentido ecológico y económico. Puesto que millones de personas a nivel mundial sufren de malnutrición y la población mundial aún está aumentando, se tendrá que utilizar la biomasa a mediano y largo plazo para producción alimentaria y no estará disponible como sustituto potencial de las fuentes de energía tradicionales.

5 Agua

La energía hidráulica es también una forma de energía solar almacenada en la naturaleza. En última instancia, ésta proviene del ciclo de evaporación y precipitación causado por el Sol. Acá sólo se está considerando la “energía hidráulica” mecánica utilizada directamente como fuente de energía. También se usa el agua para almacenar calor (calefacción urbana, energía geotérmica). En contraste, cuando la energía eléctrica está almacenada en forma de hidrógeno a través de la electrólisis del agua, es el hidrógeno y no el agua la fuente de energía.

5.1 ¿Qué es la energía hidráulica?

La energía hidráulica, o la potencia hidroeléctrica, es el término utilizado para describir el flujo de energía del agua fluyente que luego se convierte en energía mecánica o eléctrica mediante turbinas y generadores conectados a éstas. Hace 2000 años, los habitantes de Mesopotamia (Irak actual) y Egipto ya usaban energía hidráulica en la forma de ruedas con baldes para la irrigación de los campos. Posteriormente se desarrollaron los molinos para moler granos. Desde la Edad Media hasta el comienzo del siglo XIX, todas las fundiciones funcionaban como molinos de martillos accionados hidráulicamente. En ese entonces aún no se podía fundir el hierro y el acero en altos hornos; en vez de ello, éstos se forjaban laboriosamente a “martillo” a partir de masas sólidas de escorias de hierro (“bolas”). Históricamente, por lo tanto, inicialmente se utilizó energía mecánica en molinos y molinos de martillos. Fue únicamente con el uso amplio y gradual de la electricidad al final del siglo XX que la energía hidráulica progresivamente se convirtió en energía eléctrica mediante turbinas y generadores.

5.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía hidráulica

En 2014 la energía hidroeléctrica representó el 16,6 % de la generación mundial de energía eléctrica; las otras energías renovables (incluidas las sustancias biogénicas) llegaron a una contribución total del 6,2 %. Por el momento, la única fuente de energía renovable que hace una contribución apreciable al suministro de la población mundial es la energía hidráulica. La contribución combinada de las demás fuentes de energía renovables como el Sol, el viento, la energía geotérmica y la biomasa es del 2,1 %. En el 2005, las centrales hidroeléctricas produjeron alrededor del 16 % de la energía eléctrica generada a nivel mundial, lo cual es casi lo mismo que la energía nuclear. La velocidad con la que se puede poner en servicio y clausurar una central, su prolongada vida útil y los bajos costos de operación dado el bajo nivel de trabajo necesario para el mantenimiento y operación son aspectos positivos adicionales. Según las estimaciones actuales, la proporción de energía eléctrica generada por potencial hidroeléctrico se podría incrementar en un par de puntos porcentuales con centrales eléctricas de agua fluyente. Sin embargo, debido a las limitaciones naturales, tales como seguridad contra terremotos y el cambio climático, no son probables incrementos significativos.

Todavía no es posible evaluar si las nuevas centrales hidroeléctricas de agua de pozo, de reciente desarrollo, permitirán una mayor expansión de la energía hidroeléctrica en zonas como Europa

Central, donde difícilmente ha resultado sensato seguir expandiéndose. Apenas se presenta algún impacto sobre el paisaje para estas nuevas centrales eléctricas, y son relativamente baratas. Las centrales eléctricas de gradiente térmico oceánico, tales como las de corriente marina y las undimotrices, por otra parte, ofrecen un gran potencial teórico, pero la tecnología todavía se encuentra en fase piloto.

5.3 Tecnologías utilizadas con la energía hidráulica

Se hace una distinción entre los diferentes tipos de centrales hidroeléctricas según su diseño. A continuación se presenta una breve reseña:

Centrales hidroeléctricas de agua fluyente

Con una central eléctrica de agua fluyente, se bloquea un tramo de unos cuantos metros de un río y se produce energía eléctrica para cubrir la carga básica con la mayor continuidad posible, mediante el flujo de agua a través de dicho bloqueo. En general, las turbinas utilizadas son Kaplan o tubulares.

Generador de boya

Con un generador de boya se suspende la turbina directamente en el agua, en una tubería, y ésta convierte la energía cinética del agua en energía eléctrica. No hay necesidad de embalses y no se modifican ni la topografía ni los niveles del agua. Hay proyectos piloto en servicio en Austria. Sin embargo, la producción es baja; cada boya supliría únicamente la demanda de consumo de 30 hogares.

Central eléctrica de almacenamiento con embalse de reserva

Con una central eléctrica de almacenamiento se almacena el agua durante un período de tiempo prolongado. Según la cantidad de agua, la central eléctrica se utiliza continua o temporalmente para cubrir la carga máxima. En las centrales eléctricas con una represa alta (presa de embalse), es decir, donde la presión es alta y con volúmenes considerables de agua (por ejemplo, Itaipú, Cahora Bassa), generalmente se utiliza la turbina Francis. Para cantidades inferiores de agua y una altura de caída relativamente grande, se utiliza la turbina Pelton.

Central eléctrica de almacenamiento por bombeo

Con una central hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo, el excedente de energía eléctrica se utiliza para bombear agua a un embalse más alto para poder generar posteriormente el nivel de energía de la demanda máxima. Por el momento, las centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo representan la única tecnología económicamente factible y completamente desarrollada para almacenar grandes cantidades de energía eléctrica en otras formas de energía.

Central hidroeléctrica mareomotriz

Una central hidroeléctrica mareomotriz utiliza la energía mecánica proveniente del cambio constante de las mareas. Desde un punto de vista didáctico, este tipo de central es interesante puesto que en último caso la energía proviene de la disminución en la velocidad de rotación de la Tierra, más bien que de la Luna, como muchos piensan.

Central eléctrica undimotriz

Las centrales de energía undimotriz utilizan la energía cinética de una masa de agua, la cual se convierte a través del viento proveniente de la energía solar en olas más o menos continuas. Las

primeras centrales piloto han estado funcionando desde el 2007. Una solución funciona con turbinas. Otro método pretende convertir las fluctuaciones en las olas con un tipo de péndulo en energía de rotación mecánica y luego en energía eléctrica. Las tecnologías son prometedoras pero aún están en vías de desarrollo.

Central eléctrica de corrientes oceánicas

Debido a las diferencias de temperatura y concentración salina, en muchas áreas hay corrientes oceánicas constantes cuya energía cinética también se podría utilizar. Se están preparando proyectos piloto iniciales ("Seaflow") con propulsores submarinos de funcionamiento sumamente lento.

5.4 Desventajas y límites de la energía hidráulica

La generación de electricidad con base en energía hidroeléctrica no consume ninguna materia prima natural, no emite ningún contaminante y sólo produce una pequeña cantidad de calor residual; todo ello con un alto grado de eficiencia (hasta el 95 %). En muchos casos, la regulación de los cursos de agua mediante presas también tiene ventajas indirectas de riego, elevación del nivel freático, la creación de áreas de esparcimiento, piscicultura, navegación, protección contra inundaciones y suministros de agua potable.

Pero la energía hidráulica no sólo ofrece ventajas. En muchos casos, la generación de energía eléctrica es irregular, por ejemplo, si el nivel del agua de un río baja por precipitación inadecuada. Los cambios climáticos podrían acentuar estas fluctuaciones. Los efectos en la topografía y en el hábitat de hombres y animales a menudo son también masivos. El bloqueo del cauce del agua trae consigo cambios en la dinámica del flujo y de las zonas de agua altas a bajas. La velocidad del flujo se reduce en gran medida, lo cual, debido a la perturbación del equilibrio de carga del lecho, lleva al depósito de sedimentos sobre la presa y a erosión bajo la misma. Otras consecuencias son la disrupción del hábitat de muchas especies acuáticas y cambios en la estructura y diversidad de la flora y la fauna en el agua y en las márgenes del río. La calidad del agua puede deteriorarse, por ejemplo, debido a la falta de oxígeno, cambios en la temperatura, cambios en las condiciones de flujo y eutrofia (exceso de fertilización causado por el agua que permanece en el embalse) y restringir el hábitat de los peces migratorios. A menudo también se pierden los hábitats humanos de larga trayectoria. También hay mayor discusión del peligro de desastres por inundación causados por terremotos o deslizamientos de tierra. A menudo, las grandes distancias entre las ubicaciones utilizables de centrales eléctricas y los centros de consumo significan que los costos de transporte cuentan en una proporción relativamente alta en el precio de la energía eléctrica.

6 Viento

6.1 ¿Qué es la energía eólica?

Debido a que las longitudes de onda de la luz solar que puede ser absorbida por las moléculas de la atmósfera se filtran en los estratos superiores, el aire cerca de la superficie terrestre no es calentado directamente por el Sol. Sólo cuando la superficie terrestre (incluyendo el agua) es calentada por la radiación directa e indirecta, las capas superiores del aire se calientan, obtienen flotabilidad y fluyen hacia arriba. Al mismo tiempo, el aire fluye lateralmente desde áreas menos calientes; este flujo cruzado se describe como viento. La energía cinética del movimiento lineal del aire del viento puede ser convertido por velas en un movimiento lineal o por turbinas eólicas en un movimiento rotativo. El hombre ha estado usando energía eólica durante aproximadamente 2000 años hasta la fecha, con los molinos de viento.

6.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía eólica

Como una fuente de energía eléctrica libre de CO₂, la energía eólica no sólo aporta una importante contribución a la protección activa del clima; asimismo, también ahorra las reservas de combustibles fósiles. En 2014 ya fueron ahorrados mediante la energía eólica 40 millones de toneladas de CO₂. China por sí sola construyó 2015 parques eólicos con una capacidad total de más de 30 GW. Esto corresponde a la capacidad de hasta 15 centrales eléctricas nucleares. Inclusive si sólo se pueden considerar económicamente factibles las áreas ventosas y los parques eólicos de gran escala (por ejemplo parques eólicos costa afuera), aún quedan muchas ubicaciones potenciales. Dada la tecnología relativamente modular utilizada, y en contraste con otras centrales eléctricas de gran escala, no toma mucho tiempo construir un parque eólico. Mediante el uso de la energía eólica unos cuantos puntos porcentuales de las necesidades energéticas del mundo podrían ser cubiertos dentro de unos años, como vemos en el ejemplo de China. Por el contrario, en Alemania en 2016 la expansión de la energía eólica tuvo que ser retrasada. Por una parte, no existen líneas eléctricas y, por otro, existe el deseo de evitar recortes bruscos de puestos de trabajo en el sector de los combustibles fósiles, sobre todo en el caso del lignito.

En cuanto a la disponibilidad de la energía eólica, sin embargo, se debe recordar que debido a las condiciones fluctuantes del viento, en promedio, sólo alrededor del 25 al 50 % de la capacidad de la turbina eólica instalada está disponible para el suministro de energía eléctrica.

6.3 Tecnologías utilizadas con la energía eólica

Por el momento, sólo hay prácticamente una tecnología de turbinas eólicas completamente desarrollada: ésta utiliza “turbinas eólicas tipo sustentación”, usualmente con hélices de tres aspas alineadas verticalmente a la dirección del viento. La última generación de turbinas eólicas trabaja sin tren de engranajes con generadores multipolares y equilibran las fluctuaciones de voltaje y frecuencia relacionadas con el viento mediante tecnología moderna de convertidores de potencia. En el archivo de medios (módulo de información interactivo) “Cómo funciona un parque eólico” se explican estas tecnologías.

6.4 Desventajas y límites de la energía eólica

Las inquietudes sobre los emplazamientos de los parques eólicos se expresan principalmente por razones de conservación de la naturaleza y estéticas. Sin embargo, desde el comienzo de la era industrial, el hombre ha estado viviendo en un entorno industrial cada vez más densamente habitado, con infraestructura altamente desarrollada. Las estructuras artificiales (estructuras creadas por el hombre) determinan e influyen dicho entorno. Las carreteras, vías férreas, aeropuertos, centrales eléctricas de gran escala, incineradores de desechos, fábricas de productos químicos y todo tipo de torres de potencia de más de 60 m de altura se consideran ahora perfectamente normales. Nuestro paisaje siempre ha sido modelado por el hombre, por lo que el daño causado por los aerogeneradores debe situarse en relación con otras cargas y, sobre todo, con las grandes ventajas que tiene la energía eólica para la protección del medio ambiente en su conjunto. También hay quejas acerca de sombras proyectadas, ruidos molestos o peligro para las aves y los murciélagos. Sin embargo, una cuidadosa planificación de las ubicaciones y los requisitos de espacio puede reducir estos inconvenientes.

Las barreras más importantes para la energía eólica son actualmente la restricción a las zonas ventosas, la fluctuación del suministro de energía eólica, la falta de expansión de la red y la falta de oportunidades para el almacenamiento intermedio de energía eléctrica.

7 Calor solar (energía térmica solar)

La “luz” se define en física y biofísica como la “parte visible del espectro electromagnético”. En la energía térmica solar y en la central eléctrica fotovoltaica, sin embargo, también se utilizan en algunos casos los componentes invisibles de la radiación solar. Asimismo, en física, química y la tecnología de conversión de energía se distingue entre calor y luz. Según el material de absorción utilizado, la energía térmica solar utiliza la radiación solar completa: el intervalo ultravioleta invisible (menor de 400 nm), el intervalo visible hasta 800 nm y el intervalo invisible del infrarrojo cercano (> 800 nm) al distante (hasta aproximadamente 12.000 nm). Con un absorbedor térmico solar ideal, aproximadamente el 1 % de la energía térmica provendría de la luz ultravioleta, aproximadamente un 50 % de la luz visible y aproximadamente un 49 % de la infrarroja.

7.1 ¿Qué es calor solar o energía térmica solar?

Ya en la Edad de Piedra, antes de descubrirse el fuego, los cavernícolas utilizaron el calor del Sol almacenado en rocas para protegerse contra el frío en la noche o durante temporadas frías. Pero, ¿cómo se introduce el calor de la radiación solar en la roca? Cuando la radiación solar electromagnética entra en contacto con un cuerpo, parte de ésta se refleja y parte se absorbe. Con un cuerpo negro ideal el grado de absorción sería del 100 %. La radiación absorbida se convierte en el movimiento de las partículas más diminutas en el objeto (átomos o moléculas). El contenido de calor del objeto aumenta y así lo hace la temperatura. Un cuerpo negro ideal absorbe la luz visible y la invisible; es decir, ultravioleta (por debajo de 400 nm) e infrarroja (por encima de aproximadamente 800 nm). Cuando se habla de energía térmica solar, generalmente se quiere decir la porción de onda larga de la radiación solar.

¡Cuidado con el término “radiación de calor”!

El término radiación térmica es con frecuencia mal utilizado o mal entendido. Lo cierto es que todo cuerpo que esté más caliente que 0 °K irradia energía. Si esto se denomina radiación térmica porque el calor es la causa de la radiación, es lo correcto. Pero atención: durante la radiación ha habido una conversión de energía, de calor (movimiento de las partículas más pequeñas de materia) a energía de radiación (ondas electromagnéticas). Incluso si un cuerpo se calienta por la radiación que incide, entonces es por la conversión de energía de radiación en energía térmica. Por lo tanto, no hay radiación que transporte el calor y por lo tanto que se llame de esta manera, sino sólo hay energía calorífica o energía de radiación.

7.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía térmica solar

En 2013, los hogares consumieron en Alemania 2603 petajulios (PJ) de energía, es decir, 723 mil millones de kWh. Esto correspondía a un porcentaje del consumo total de energía de un 28 %. Los hogares particulares necesitan alrededor de 69 % de la energía para la calefacción, 15 % para el agua caliente, 6 % para cocinar, 4 % para aplicaciones de enfriamiento y refrigeración, 4 % para tecnologías de la información y de la comunicación, 2 % para la iluminación y menos de 1 % para otros aparatos eléctricos.

Es razonable que el calor solar que se esté recibiendo actualmente se podría utilizar para calefacción y para el suministro de agua caliente en vez de energía solar fósil, tales como el carbón, combustóleo o gas natural. En áreas extensas de las regiones templadas y frías de la

Tierra, la energía térmica solar sería suficiente para esto. En Europa Central, la radiación solar por año es aproximadamente 1.000 kWh/m². La demanda de calefacción en una vivienda con aislamiento tradicional es aproximadamente 200 kWh/m² por año o aproximadamente 30 kWh/m² por año en una “vivienda de bajo consumo de energía” aislada apropiadamente. Si el suministro total de calefacción y agua caliente en viviendas alemanas se adaptara para utilizar energía térmica solar, el consumo de energía, y, por ende, las emisiones de CO₂, de cada vivienda se podría reducir en hasta un 70 % y el total de emisiones de CO₂ en Alemania se podría reducir en hasta un 20 %. ¡La energía térmica solar ahí tiene un gran potencial de sustitución!

7.3 Tecnologías utilizadas con energía térmica solar

Se puede “recoger” o capturar la radiación solar con colectores y almacenarla temporalmente en medios de almacenamiento de calor, generalmente tanques de agua. También es posible utilizar el calor solar almacenado en la tierra o en el agua freática o agua superficial mediante bombas de calor. Las medidas a nivel estructural también son adecuadas para absorber y almacenar calor solar en la estructura misma del edificio.

7.3.1 Cómo usar calor solar directamente con colectores

La parte más importante del colector es el absorbedor, el cual convierte la energía de radiación del Sol en calor y lo transmite a un líquido portador de calor. Este líquido se recircula por bombeo y transfiere su calor a un medio de almacenamiento de calor, como una caldera de un sistema de calefacción central o la caldera del suministro de agua caliente. Si la temperatura del colector es aproximadamente de 60 °C y si el recipiente de almacenamiento de calor es lo suficientemente grande (aproximadamente 2000 litros de agua), se puede acumular una reserva para varios días sin luz solar. Para reducir las pérdidas en el absorbedor, es esencial utilizar un buen aislamiento del calor contra la intemperie. Los sistemas de captación se clasifican según la eficiencia de la absorción y la tecnología de aislamiento utilizada.

Absorbedores sencillos

Generalmente estos se forman de material plástico negro sin aislamiento adicional. En países del sur, a menudo sencillamente se coloca un barril negro en el techo de la casa. En Europa Central, esto es suficiente en el verano para duchas o para calentar una piscina de natación.

Colectores planos

Una placa de absorción de cobre o aluminio que luce como un radiador plano se coloca sobre una capa de aislamiento de lana de escorias o espuma rígida en una caja plana. La superficie del absorbedor está revestida con un compuesto de titanio azul-negro capaz de absorber más del 90 % de la radiación. La característica especial de este revestimiento es que sólo pierde un 10 % del calor porque refleja de vuelta alrededor del 80 % del calor hacia el absorbedor en el límite de contacto con el cobre o el aluminio. Al cubrirse la caja con una placa de vidrio se reduce considerablemente la pérdida de calor a través del aire (conducción, convección y viento). La temperatura en el absorbedor alcanza hasta 90 °C bajo irradiación solar completa. Si el contenedor de almacenamiento es lo suficientemente grande, los colectores de este tipo con una superficie de captación de aproximadamente 5 m² son suficientes en Europa Central para suministrar agua caliente en una vivienda unifamiliar alrededor de 9 meses al año. Con un área superficial de aproximadamente 32 m², también se puede proveer calefacción durante el mismo período de tiempo.

Colectores planos evacuados

Estos tienen el mismo diseño que los colectores planos normales, con la diferencia de que se evacúa el aire de la caja (vacío). La pérdida de calor hacia el medio ambiente es, por lo tanto, menor y, en teoría, se podrían alcanzar temperaturas de hasta 200 °C en el colector cuando la bomba está inactiva. Si no está cubierto con nieve, un colector de este tipo también puede suplir parcialmente la demanda de calefacción de una vivienda incluso en invierno.

Colectores de tubo evacuados

Como en los anteriores, el absorbedor está hecho de cobre especialmente revestido. Pero a diferencia de los anteriores, los dispositivos de absorción son tubos de cobre cada uno de los cuales está contenido en un tubo de vidrio evacuado. Bajo el lado inferior del tubo de vidrio, un reflector parabólico está conectado de forma tal que el tubo de absorción de cobre se encuentra en el punto focal. Los colectores de este tipo son hasta cuatro veces más eficientes que los colectores planos y pueden alcanzar temperaturas de estancamiento de más de 300 °C. Los proyectos piloto iniciales en Alemania muestran que la demanda de agua caliente y calefacción pueden ser suplidas completamente todo el año en viviendas de bajo consumo de energía de esta forma. Sin embargo, hay dudas sobre la factibilidad económica de dichas soluciones extremas, puesto que la inversión necesaria es mucho más alta que para otros tipos de colectores.

7.3.2 Cómo usar el calor solar indirectamente con bombas de calor

En extensas áreas de Europa, América del Norte y Japón, la temperatura de la tierra y del agua freática jamás cae por debajo de 7 °C, ni en los meses del invierno. Inclusive la temperatura del agua superficial en ríos y lagos sólo cae por debajo de 4 °C cuando está completamente congelada. Estas temperaturas son el resultado del calentamiento por los rayos del Sol y la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua y de la tierra. Con bombas de calor (motores térmicos inversos), se puede transmitir el calor desde un embalse a baja temperatura (por ejemplo, agua freática) hacia un embalse a alta temperatura (por ejemplo, caldera de calefacción). Si la temperatura del agua freática es, por ejemplo, de 7 °C y la temperatura de la caldera de calefacción es aproximadamente de 40 °C, entonces se pueden obtener aproximadamente 4 kW de calor térmico con 1 kW de energía de operación de la bomba de calor. Fuentes de calor adecuadas son el agua de río, el agua subterránea (pozos de sondeo hasta una profundidad aproximada de 15 m), la energía geotérmica (tendido de tubería sobre un área extensa a una profundidad de al menos 1,5 m), el aire y también los colectores solares térmicos. Incluso cuando se opera la bomba de calor con energía eléctrica, ésta puede ser una solución ecológica y económicamente factible. Sin embargo, un período de amortización de al menos 15 años es probable, lo cual sólo es factible con bombas de calor de vida útil sumamente prolongada.

7.3.3 Cómo utilizar el calor solar a través de medidas arquitectónicas

Tradicionalmente también se usa el calor solar para mantener la temperatura en las áreas de permanencia. Esto se realiza mediante arquitectura que satisface esas necesidades, en la forma de viviendas de bajo uso de energía o viviendas pasivas. En climas fríos, las ventanas, puertas y conservatorios están orientados preferentemente en la dirección del sol del mediodía. Idealmente, estos deben estar protegidos contra el sol por toldos o persianas de manera tal que el sol, en su punto más alto, no entre en el edificio en el verano. Los rayos planos del sol, al estar éste cerca de su altura mínima sobre el horizonte en las estaciones de transición y en el invierno, entrarán en el edificio. Las paredes y pisos interiores están hechos de materiales que almacenan bien el calor, tales como ladrillo, concreto o ciertas piedras naturales. Si la masa de estos es lo suficientemente

grande, se almacena una cantidad tal de calor en ellos que la totalidad de la vivienda permanece placenteramente cálida durante la noche y en días nublados. Si en una vivienda con bajo consumo de energía las ventanas y paredes exteriores están sumamente bien aisladas, en áreas con un alto número de días soleados, se puede ahorrar hasta un 80 % de la energía de calefacción de esta manera. En vez de tener una demanda anual de energía de más de 200 kWh/m², como en una vivienda con calefacción tradicional, la vivienda con bajo consumo de energía sólo necesita aproximadamente 40 kWh/m². Una “vivienda pasiva”, la cual tiene aún mejor aislamiento y mejores medios de almacenamiento de calor, puede realmente ahorrar hasta un 95 % de energía.

Una nueva tendencia se llama así “hogares con energía de más”, es decir, hogares que producen más energía de la que consumen en un promedio anual. Combinando la orientación óptima de las superficies acristaladas de la casa hacia el sur, materiales de construcción que almacenen calor, calefacción por bomba de calor con acumulador de hielo, colectores termosolares y central eléctrica fotovoltaica, es posible construir hoy en día casas de bajo costo y con energía de más. La construcción económica en costos se consigue, entre otros, sacrificando métodos de aislamiento térmico. (Por ejemplo, una pared exterior de hormigón celular de 35 cm de espesor cuesta sólo alrededor de un tercio en comparación con una pared “normal” con aislamiento de espuma de plástico adicional. Incluso la construcción en madera más elogiada por el ahorro de energía utiliza las relativamente buenas propiedades de aislamiento de la madera, pero su almacenamiento de calor es bajo. Por lo tanto, las casas de madera tienen una reducción nocturna de la temperatura interior relativamente fuerte).

7.3.4 Plantas de energía solar térmicas

Durante un tiempo, muchas centrales eléctricas fueron construidas para la generación de energía eléctrica a partir del calor solar. Sin embargo, esto sólo es factible en áreas con radiación solar intensa y continua. En Europa, por ejemplo, en el sur de España; en las regiones desérticas de Arabia y África; en las regiones desérticas de los estados sureños de los Estados Unidos, en Centro América y en Australia. Han surgido dos tipos:

- Las plantas de energía solar más pequeñas tienen un espejo convexo grande (paraboloide) en cuyo punto focal está ubicado un cilindro de trabajo de un motor Stirling, en el cual se coloca directamente el generador. La central eléctrica generadora más eficiente de este tipo en la actualidad es la central tipo “Euro-Dish-Stirling” (paraboloides con motor Stirling).
- Las plantas de energía solar con la capacidad de centrales generadoras de gran escala caldeadas a carbón funcionan con largas hileras de espejos parabólicos en el punto focal de los cuales está ubicado un tubo absorbedor que contiene el medio de trabajo (“central eléctrica con cilindros parabólicos”). El medio de trabajo caliente produce vapor con un intercambiador de calor, el cual se utiliza para operar turbinas y generadores de vapor de gran tamaño. Con los sistemas de almacenamiento de calor (sales fundidas) correspondientes, las grandes centrales eléctricas termosolares pueden seguir funcionando a plena carga sin sol hasta por 7 horas. ¡Esta es una gran ventaja sobre la energía fotovoltaica y la eólica!

Desde que el precio de los módulos fotovoltaicos pasó de 4 euros/W en 2005 a menos de 0,40 euros/W (2016), la generación de energía eléctrica con centrales termosolares se ha vuelto comparativamente cara. Por lo tanto, la construcción de centrales eléctricas termosolares ha decaído fuertemente en todo el mundo.

7.4 Desventajas y límites de la energía térmica solar

Una desventaja es que no hay suficiente calor solar (días soleados) disponibles en todas las regiones pobladas del planeta. Otra desventaja son los costos de inversión relativamente altos de la tecnología necesaria. Estos costos podrían ser más de dos veces el costo de sistemas tradicionales de gas o combustóleo en viviendas privadas. También existen los costos de mejorar el aislamiento del calor del edificio. Sin embargo, debido a requisitos legales más estrictos y a los pronunciados aumentos en los precios del gas y del petróleo, los períodos de amortización se han reducido a la mitad en la última década, de 15 a 30 años para 8 a 15 años. Las mayores ventajas de la energía térmica solar son: no produce residuos ni emisiones atmosféricas y en áreas del globo con condiciones climáticas propicias hay disponibles cantidades casi ilimitadas de energía solar. Ciertamente las plantas de energía solar necesitan áreas extensas de terreno, pero en todo caso, éstas están disponibles en los desiertos. La necesidad de transportar energía eléctrica a través de miles de kilómetros en muchos casos se resuelve en términos técnicos, pero, en general, es un problema en términos de factibilidad económica.

8 Luz solar (central eléctrica fotovoltaica)

La conversión directa de la luz solar en energía eléctrica mediante células solares, como se las denomina, se describe como tecnología solar fotovoltaica. A primera vista, ésta es una posibilidad fascinante, puesto que la conversión indirecta de la energía solar mediante motores térmicos siempre genera calor sobrante, conforme a la segunda ley de la termodinámica. La tecnología fotovoltaica, por otro lado, podría lograr, teóricamente, un rendimiento de casi el 100 %.

8.1 ¿En qué consiste la tecnología fotovoltaica?

Al incidir la luz sobre metales, se liberan electrones en la superficie. Este fotoefecto “externo” se puede utilizar sólo al vacío para generar pequeñas corrientes eléctricas y no es adecuado para generar energía eléctrica. Esto se hace con el fotoefecto “interno”, el cual se puede describir en términos básicos como un proceso de dos electrodos. En el electrodo positivo (semiconductor impurificado), la luz libera electrones de la banda de valencia mediante excitación, dejando tras sí agujeros (cargas positivas). Estos electrones pasan a través de una película separadora dieléctrica hacia la banda conductiva del electrodo negativo y la carga negativamente. Desde el electrodo negativo, los electrones pueden entonces fluir de vuelta a través del circuito de operación externo hacia el polo positivo (flujo de carga = $V \cdot Q = E_{el}$).

En 1883, Charles Fritts creó la primera fotocélula del mundo con selenio, un elemento semiconductor. Sin embargo, no se la utilizó para obtener energía, sino se la utilizó durante décadas en fotografía para medir la iluminación. En 1954, Chapin, Fuller y Pearson reprodujeron la primera célula solar con silicio, con una eficiencia de aproximadamente el 5 %. Estas células solares se utilizaron inicialmente sólo en la industria aeroespacial. No fue sino hasta la década de los 80 en que también se utilizaron las células solares en productos de uso diario (calculadoras, relojes de pulso). El uso de la tecnología fotovoltaica en plantas generadoras ha sido objeto de consideración únicamente desde el año 2000. A largo plazo la tecnología fotovoltaica tiene probablemente el mayor potencial de expansión debido a los precios más bajos, la tecnología totalmente modular y la amplia gama de aplicaciones (techos, fachadas, campos).

El rendimiento de las fotocélulas actuales es aún relativamente bajo por el momento. Las mejores células solares producidas en serie (versión 2016) proporcionaron en 2016 un rendimiento de 24 %. Esto se debe a que, debido a la cuantización de la energía en los materiales utilizados actualmente para las células solares, no se dispone de un espectro de absorción continua de la luz solar. En cambio, la absorción ocurre en bandas de energía relativamente angostas que sólo

corresponden a unas cuantas longitudes de onda del espectro luminoso. Se están realizando esfuerzos mediante la combinación de películas de células solares de varios materiales o mediante el uso de capas adicionales de pigmentos fluorescentes, para aumentar el ancho de banda de absorción y así mejorar el rendimiento en la dirección del nivel teóricamente posible del 100 %.

8.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la tecnología fotovoltaica

De acuerdo con la Agencia de Energías Renovables, el porcentaje de fuentes de energía renovables en Alemania fue en la mezcla de energía eléctrica al final de 2015 de alrededor de 32,5 % (frente al 12 % en 2006). La proporción de la tecnología fotovoltaica estuvo presente en aproximadamente 6,5 % (en comparación con 0,3 % en 2006). En comparación, en 2014 el porcentaje de energías renovables en la mezcla de electricidad en los EE.UU. fue de aproximadamente 12 % y la tecnología fotovoltaica sólo tenía un porcentaje de aproximadamente el 0,5 % (fuente: U.S. Energy Information Administration, EIA - Administración de información de la energía del Gobierno de los Estados Unidos)

Técnicamente, aproximadamente el 80 % de la superficie de la Tierra es adecuada para generar electricidad con energía solar. En Alemania, por ejemplo, con el nivel actual de rendimiento de las células solares, aproximadamente el 1 % de la superficie terrestre sería suficiente para satisfacer la demanda total de energía eléctrica. Con aprox. el 10 % de la superficie de Alemania se podría cubrir incluso toda la demanda energética, incluidos el transporte y la calefacción. Si se utilizaran los techos y las fachadas de los edificios para ello, las áreas naturales no urbanizadas quedarían prácticamente intactas. En comparación con la agricultura, la tecnología fotovoltaica es extremadamente eficiente: ¡Una hectárea de central eléctrica fotovoltaica proporciona 10 veces más energía que un campo de maíz de una hectárea!

Persiste la pregunta sobre la vida útil y el desecho de las células solares. En una célula de silicio, el nivel de rendimiento disminuye durante la vida útil de la célula, pero permanece económicamente factible con la tecnología utilizada actualmente, hasta 30 años (reducción a no menos del 80 %); este período probablemente se extenderá hasta 50 años en el futuro.

Cualesquier contaminantes (de la impurificación) están ligados permanentemente al silicio, lo cual significa que su disposición no es problemática. Con los otros tipos de células solares, aún se tienen que efectuar experimentos a largo plazo para determinar su durabilidad. Algunos tipos también contienen mayores cantidades de contaminantes (tales como Cd, Te, Se) y se tienen que desechar como desecho especial.

El ejemplo de la central eléctrica fotovoltaica muestra claramente lo valiosa que ha sido la subvención de esta tecnología (en particular, Alemania y China fueron pioneros en este campo a nivel mundial). Desde 2005, el precio de los módulos fotovoltaicos se ha reducido a aproximadamente 1/10. Es decir, en regiones soleadas con luz solar intensa, como California, el sur de España o el norte de África, los costos de producción de electricidad de la central eléctrica fotovoltaica en 2016 ya resultan menores que los de las fuentes de energía fósil. En Europa Central, los costos de generación de electricidad de las grandes centrales (con un costo aproximado de 7 céntimos/kWh) han caído ya por debajo de los de la electricidad de las turbinas a gas. Ya en 2013 el estudio "New Lens Scenarios" de Royal Dutch Shell, una de las mayores compañías petroleras del mundo, declaró a la fotovoltaica como la fuente de energía primaria más importante del mundo futuro.

8.3 Tecnologías utilizadas con la tecnología fotovoltaica

Dependiendo del material, grado de cristalización y espesor de película, se pueden describir los siguientes tipos de células solares como los más importantes:

- Células de silicio de película gruesa
- Células de silicio de película delgada
- Células de arseniuro de galio (GaAs)
- Células de telurio de cadmio (CdTe)
- Cobre indio selenio (CIS)
- Células solares orgánicas
- Células solares sensibilizadas por colorante.

Estos tipos de células solares están descritas con más detalle en la guía “Conversión de energía”.

8.4 Desventajas y límites de la tecnología fotovoltaica

La principal ventaja de la tecnología fotovoltaica es la posibilidad de generar energía eléctrica mundialmente, casi independientemente de la ubicación. Se la utiliza, por ejemplo, en India, en áreas rurales anteriormente no electrificadas para desarrollar el suministro de energía eléctrica local. A menudo se cita un ecoequilibrio desfavorable como una de las desventajas. Sin embargo, esto no es cierto, aun cuando se necesita un alto nivel de energía para realmente producir las células solares utilizadas actualmente y algunas veces es necesario usar metales pesados tóxicos para la producción. La proporción de contaminantes, por ejemplo, en las células de silicio acabadas es tan bajo que su disposición no es un problema. El contenido frecuentemente citado de boro tóxico y arsénico de las células de silicio se mueve en el rango de ppm. Estas sustancias están firmemente adheridas al silicio y no se disolverían si las células solares desechadas se depositaran en los vertederos. Y con una vida útil de más de 30 años para células solares probadas y comprobadas, esta desventaja ecológica aparente es insignificante en comparación con los beneficios ecológicos. La amortización de la energía de las células solares, es decir, cuánto tiempo se tarda en recuperar la energía consumida durante la producción, con hasta 12 meses también se ha vuelto muy favorable.

Una gran desventaja es el suministro fluctuante de energía fotovoltaica, que es incierto debido la interrupción nocturna y por causa del clima y a las fluctuaciones estacionales. Mientras que el calor del Sol puede almacenar de forma intermedia con relativamente poco esfuerzo, en la actualidad casi nunca se hace con energía eléctrica (véase el capítulo 10, “Almacenamiento de energía”).

9 Energía geotérmica

La energía geotérmica es otra energía renovable, es decir, prácticamente “inagotable”.

9.1 ¿Qué es la energía geotérmica?

Literalmente, la energía geotérmica es “energía obtenida de la Tierra”. Puesto que el calor de los estratos de la Tierra existe hasta una profundidad de aproximadamente 30 m, principalmente como resultado de la radiación solar y la contrarradiación de la atmósfera, este tipo de calor se clasifica como energía térmica solar. Algunas veces también se habla de fuentes geotérmicas “cerca de la superficie”. El término “energía geotérmica” o, para evitar malos entendidos, “energía geotérmica profunda” significa la obtención de calor del interior de la Tierra, el cual se tiene que extraer mediante la perforación de agujeros de varios miles de metros de profundidad. Este calor

es, en parte, calor residual de la época en que se formó la Tierra hace aproximadamente 4600 millones de años, y en parte proviene de la desintegración radiactiva natural de los isótopos radiactivos de larga duración, tales como uranio²³⁵ (U) y U²³⁸, torio²³² y potasio⁴⁰ en el interior de la Tierra, lo cual ha estado ocurriendo durante millones de años.

9.2 Disponibilidad y potencial de sustitución de la energía geotérmica

La energía geotérmica es una fuente de energía que se puede utilizar a largo plazo. Las reservas de calor almacenadas en los 3000 m superiores de la corteza terrestre podrían teóricamente satisfacer la demanda mundial actual de energía durante más de 100 000 años. En este contexto, la geotermia profunda es realmente inagotable en términos humanos, no obstante el rápido enfriamiento del núcleo de la Tierra. Pero, en la actualidad, esta energía geotérmica sólo se puede extraer económicamente en unos cuantos puntos de la corteza terrestre que contienen nidos de calor volcánico (“puntos calientes”) de unos cuantos cientos a unos cuantos miles de metros. Tradicionalmente, la generación de energía eléctrica de fuentes geotérmicas está concentrada en países como Islandia, los cuales tienen muchos puntos calientes cerca de la superficie debido a su densidad volcánica. En países donde éste no es el caso, se tiene que generar la energía eléctrica bastante ineficientemente en comparación con un nivel de temperatura bajo de 90 a 150 °C. Por otro lado, fuentes desde aproximadamente 45 °C y superiores son fuentes de calor adecuadas para calefacción y suministro de agua caliente. Si, por ejemplo, se explotaran todas las posibilidades existentes en Alemania al 2020, el uso de energía geotérmica podría ahorrar más de 20 millones de toneladas de dióxido de carbono. A nivel mundial en el 2005, se contó con alrededor de 20 GW en centrales para obtención de calor y con 8 GW en centrales eléctricas geotérmicas para generación de energía eléctrica (fuente: RWE). Del 1979 al 2005, Estados Unidos construyó centrales eléctricas geotérmicas con una capacidad aproximada de 2,6 GW, convirtiéndolo en líder mundial en este rubro. Pero actualmente, no ha habido mayor expansión, lo cual se debe probablemente a la falta de factibilidad económica de los sitios disponibles (véase “Desventajas y límites de la energía geotérmica”).

9.3 Tecnologías utilizadas con energía geotérmica

Para habilitar fuentes de energía geotérmica se perfora un agujero en la profundidad del punto caliente. Si hay agua ahí a más de 100 °C, ésta podría salir a la superficie terrestre por su propia presión de vapor. De lo contrario, es necesario bombearla. Luego se retira el calor del agua caliente con un intercambiador de calor y este calor se envía a una red de calefacción urbana o a una central eléctrica. El agua enfriada es presionada de nuevo en el interior de la tierra. Si el estrato caliente en el interior de la Tierra no contiene agua, también se podría inyectar agua fría en el agujero perforado desde la superficie de la Tierra y tomarse el vapor resultante.

Si el calor obtenido geotérmicamente se utiliza para propósitos de calefacción y si su temperatura es demasiado baja para ello, se puede aumentar la temperatura al nivel necesario con una bomba de calor. Si la perforación no fue demasiado profunda y por lo tanto no tan cara, esto es económicamente factible en muchos casos.

Si la energía geotérmica se utiliza para centrales eléctricas, las temperaturas de 90 a 150 °C no son suficientes para la operación eficiente de turbinas de vapor tradicionales. En vez de agua, se utiliza una sustancia con bajo punto de ebullición, tal como perfluoropentano (ebulle a 31 °C). Otra posibilidad sería utilizar motores Stirling.

9.4 Desventajas y límites de la energía geotérmica

El mayor impedimento para el uso de energía geotérmica ha sido el costo. Sin embargo, puesto que los precios más altos de energía han vuelto competitiva a la energía geotérmica, también han aparecido otras desventajas. El uso de la energía geotérmica puede, por ejemplo, llevar a un asentamiento regional del subsuelo si no se reinyecta el agua caliente profunda que se extrae. También el agua caliente profunda puede contener soluciones salinas y metales pesados tóxicos. Si no se puede retornar el agua completamente a las profundidades del terreno, se la ha de purificar y se han de desechar los residuos como desechos especiales. Las perforaciones más profundas para alcanzar temperaturas óptimas en regiones tectónicamente activas se han visto muy prometedoras. Sin embargo, debido a que estos puntos calientes generalmente no contienen agua, se esperaba que el vapor pudiera ser generado a través de la inyección de agua. No obstante, cuando se construyó una central eléctrica geotérmica cerca de Basilea, la inyección de agua en diciembre del 2006 desencadenó un terremoto severo. El uso de energía geotérmica para centrales eléctricas de gran escala se ha visto con escepticismo desde entonces.

10 Almacenamiento de energía

Generalmente, el suministro de energía renovable fluctúa considerablemente. Este es su mayor inconveniente. Por lo tanto, la energía proveniente de la conversión de fuentes de energía renovables tiene que almacenarse temporalmente para satisfacer la demanda que podría fluctuar en la dirección opuesta. Por lo tanto, en qué medida y con qué rapidez el viento y el Sol pueden reemplazar las fuentes de energía fósiles depende considerablemente del desarrollo de medios de almacenamiento idóneos.

Se pueden clasificar los medios de almacenamiento de energía con base en la forma de la energía almacenada. A continuación se presentan los medios de almacenamiento que ya son de gran importancia práctica o que tienen un alto potencial para el futuro.

10.1 Depósitos de energía térmica

Depósitos de temperatura

Estos cambian su temperatura durante la carga o la descarga. El agua es un medio de almacenamiento de calor, por ejemplo, para calefacción doméstica o suministro de agua caliente. Pero la piedra, el concreto y el ladrillo también pueden ser buenos medios de almacenamiento de calor. Estos son estándar y ya se los utiliza en gran escala para el calor solar.

Medios de almacenamiento de calor latente

Estos cambian su estado de agregación o su estado de fase durante la carga o descarga. La transición de sólido a líquido es la más adecuada. Cuando se funde, la sustancia absorbe calor, el cual transmite nuevamente cuando se solidifica. Las parafinas y plásticos especiales son idóneos para temperaturas bajas. Una empresa química, por ejemplo, desarrolló un papel tapiz con partículas de plástico embebidas que absorben calor en los días calurosos del verano al fundirse y transmiten el calor en la noche cuando se solidifican: un sistema de aire acondicionado sin consumo de energía. Otros procesos, por el contrario, utilizan calor de disolución más bien que el calor de la fusión. La sal se disuelve completamente en agua a una temperatura específica y, por lo tanto, transmite calor almacenado de esta forma cuando se cristaliza nuevamente (ver para esto las instrucciones de experimentación “Almacenar calor en forma química”). El calor de fusión de sales y mezclas de sales es ideal para altas temperaturas de hasta varios cientos de grados. La energía eólica sobrante, por ejemplo, se podría almacenar de esta manera mediante calor de resistencia eléctrica en sal fundida y utilizársela cuando sea necesario para generar vapor para

una turbina de vapor. La sal fundida se utiliza en gran escala, por ejemplo, en centrales eléctricas termosolares. En la central eléctrica con cilindros parabólicos Andasol 1, 2 y 3, el calor almacenado en la sal fundida es suficiente para operar la central de 3 x 50 MW durante más de 7 horas sin luz solar.

10.2 Medios de almacenamiento para energía mecánica

Volante

Se puede almacenar energía en la masa móvil de un volante. Sin embargo, el contenido energético no es muy alto (~500 kJ/kg). Los cojinetes del volante han de ser de fricción extremadamente baja; el volante generalmente funciona al vacío. Las capacidades típicas van de 3 kWh a más de 100 kWh. Ha habido experimentos recientemente para utilizar volantes con turbinas eólicas y turbinas a gas. El principio ha estado en uso por años en turbinas de gas pequeñas utilizadas para alimentación de energía eléctrica de emergencia a hospitales. Mientras tanto, la operación tranviaria de Zwickau o la empresa municipal de servicios públicos de Múnich, por ejemplo, están utilizando volantes de inercia acoplados con generadores de motor eléctrico para compensar las fluctuaciones en la red de distribución de energía eléctrica que duran desde milisegundos hasta varios segundos.

Central eléctrica de almacenamiento por bombeo

Si hay energía eléctrica excedente, la central eléctrica toma energía eléctrica de la red de distribución de energía eléctrica y la utiliza para bombear agua hacia un depósito a un nivel más alto. Así, la energía eléctrica se ha almacenado temporalmente como energía potencial. Cuando hay un punto máximo en la demanda, la central eléctrica funciona “normalmente” y convierte la energía almacenada nuevamente en energía eléctrica. En Alemania se han construido centrales de almacenamiento por bombeo desde 1923. Las centrales de almacenamiento por bombeo alemanas Goldisthal (1,06 GW), Markersbach (1,05 GW) y Schluchsee (0,95 GW) están entre las más grandes del mundo. Actualmente, se ha logrado una capacidad total de más de 6 GW; es decir, si varias centrales eléctricas nucleares o centrales de gran escala caldeadas a carbón fallaran, se podría satisfacer dicha demanda. Esto reduce el tiempo muerto por averías a tan sólo 20 minutos por año en promedio comparado con casi 3 horas en Estados Unidos. Por lo tanto, Estados Unidos tiene proyectado construir la central de almacenamiento por bombeo más grande del mundo, con capacidad de 3,2 GW, en Brumley Gap. A pesar de estas capacidades de almacenamiento, aparentemente de gran escala, las centrales eléctricas de almacenamiento por bombeo existentes son ahora difícilmente adecuadas para el almacenamiento temporal de energía eléctrica de las fuentes de energía tradicionales. Y, dado que una mayor expansión es casi imposible por razones económicas en muchos países, incluido Alemania, es preciso desarrollar otras opciones de almacenamiento para fuentes de energía renovables.

Centrales de almacenamiento de aire comprimido

Esta tecnología ya se usa en combinación con turbinas de gas (dos centrales construidas). Puesto que las turbinas de gas funcionan con aire comprimido en todo caso, la central eléctrica de turbinas a gas llena un depósito de aire comprimido antes de desactivarse (si hay un excedente de energía eléctrica). Cuando éste se vacía, cuando la central eléctrica se pone en servicio nuevamente (a demanda máxima), pone en marcha la turbina a gas rápidamente y produce energía adicional sin utilizar ningún combustible. Actualmente se está considerando almacenar temporalmente energía eólica y solar en depósitos de aire comprimido, para posteriormente generar energía eléctrica, si hay demanda, con turbinas que utilicen aire comprimido puro, sin combustión. Si no se pueden utilizar cavernas naturales o minas abiertas como depósitos, la

construcción de depósitos de gran escala no es económicamente factible en la actualidad. Y debido a que los gases reales se calientan al ser comprimidos, los depósitos de aire comprimido sólo tienen un nivel de rendimiento de aproximadamente el 60 % debido a las pérdidas por calor. Si no se puede utilizar este calor sobrante, la factibilidad económica también es deficiente.

10.3 Depósitos de energía química

Baterías en estado sólido

Los acumuladores y las baterías son células electroquímicas o conjuntos de estos. Si se combinan electrodos de estado sólido fabricados con metales (o materiales no metálicos) con potenciales electroquímicos diferentes, un tipo de átomo se oxida y el otro se reduce. Los electrones intercambiados de esta manera fluyen a través de un circuito de potencia externo; la energía química se convierte así en energía eléctrica. Se descarga la célula. Si, a la inversa, se aplica un voltaje externo a esta célula electroquímica, el tipo de átomo oxidado se reduce nuevamente y el tipo de átomo reducido se oxida nuevamente. Cuando se carga la “batería” de esta manera, se almacena la energía eléctrica mediante conversión a energía química. Las baterías recargables comunes funcionan con plomo (batería de automóviles), níquel-cadmio, níquel-metal híbrido o litio. Pero éstas son caras, no es fácil cambiar su capacidad de almacenamiento y tienen una vida útil relativamente corta. Sólo se pueden cargar las baterías de estado sólido estándar actuales unos cuantos cientos o miles de veces, dependiendo del tipo. Esto es muy poco para almacenar energía eólica o solar en centrales eléctricas.

Célula de flujo de reducción-oxidación

Este tipo de batería funciona, por así decirlo, con materiales de electrodo líquidos, por ejemplo cinc (Zn) y bromo (Br). El cinc está suspendido en el agua y el bromo está disponible en una emulsión organoacuosa. Se utilizan dos electrodos de grafito como colectores de corriente. A medida que el cinc fluye por su electrodo, se oxida; es decir, libera electrones y se convierte en una solución iónica (Zn^{2+}). A medida que el bromo pasa por su electrodo, es reducido; es decir, acepta electrones y forma una solución iónica como bromuro (Br^-). Durante la carga, se aplica energía y se pasan ambas soluciones por sus electrodos nuevamente. El proceso tiene la ventaja de que se pueden almacenar tanto las suspensiones como las emulsiones cargadas en tanques de cualquier tamaño. Estos electrodos líquidos no muestran ninguna señal de deterioro y, por lo tanto, en teoría, es posible un número ilimitado de ciclos de carga y descarga. El proceso, técnicamente no muy complejo y por lo tanto económico, es en principio el más adecuado para almacenar grandes cantidades de electricidad de energía eólica o solar. Mientras tanto, se han desarrollado células de flujo de reducción-oxidación especialmente duraderas basadas en vanadio, que también se utilizan en las primeras grandes plantas.

Hidrógeno

Se puede utilizar la energía eléctrica excedente sin complejidad técnica para la electrólisis (descomposición electroquímica) del agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno gaseoso (O_2). El oxígeno puro creado químicamente de esta forma se puede vender a la industria o sencillamente evacuarlo hacia la atmósfera. A continuación se licúa el hidrógeno gaseoso y se lo almacena en tanques. Los tanques de hidrógeno líquido son sumamente complejos e ineficientes si están previstos para usos móviles, pero se pueden producir tanques estacionarios grandes relativamente económicos con resistencia adecuada contra explosiones, dado el estado actual del desarrollo técnico. Si se necesitase energía eléctrica, se puede convertir el hidrógeno nuevamente en energía eléctrica mediante combustión para conversión en agua mediante turbinas a gas, motores diésel o motores Stirling. Sin embargo, el rendimiento no es bueno, puesto que los

motores térmicos sólo pueden convertir parte (aproximadamente un 40 %) del calor en energía mecánica. La tecnología de pilas de combustible es, por lo tanto, una opción. La energía eléctrica se obtiene sin combustión, con rendimientos de hasta el 85 %. Puesto que en definitiva produce agua, lo cual no afecta al medio ambiente, el almacenamiento de energía en hidrógeno es un proceso ecológicamente excelente, especialmente si el hidrógeno gaseoso almacenado proviene de energía eólica o solar. Una alternativa a la tecnología de hidrógeno puro sería convertir hidrógeno con CO₂ del aire catalíticamente (proceso de Fischer-Tropsch modificado) en metanol (CH₃OH) o CH₄. Esto produciría un combustible universal, libre de emisiones de CO₂, fácil de almacenar y distribuir, a diferencia del hidrógeno, el cual podría reemplazar completamente el petróleo y el gas.

La ventaja de la conversión a CH₄ sería que entonces toda la red de gas natural a nivel nacional podría ser utilizada para la distribución. Y también la instalación de almacenamiento de gas natural existente tiene suficiente alcance para hasta tres meses para compensar las fluctuaciones grandes en la producción de energía renovable. Este método, también conocido como “Power to Gas” (conversión de energía eléctrica a gases), ya está siendo probado en algunas plantas piloto.

10.4 Depósito de energía eléctrica

Condensador

Los condensadores son la única posibilidad para almacenar energía eléctrica directamente. En términos estrictos, las bobinas almacenan energía eléctrica como energía magnética. Los condensadores consisten de dos polos de gran superficie entre los cuales hay un aislante eléctrico. La aplicación de un voltaje de corriente continua mueve los electrones entre los polos. Ahora el condensador está cargado y puede ceder la energía en cualquier momento como flujo de carga mediante un circuito eléctrico externo. Los condensadores sufren desgaste mínimo y tienen una vida útil ilimitada. Sin embargo, por razones técnicas y económicas sólo están disponibles para almacenar cantidades de energía relativamente pequeñas. Estos comienzan con relojes solares y continúan con redes de condensadores, hasta el almacenamiento de energía de frenado en los sistemas ferroviarios subterráneos y aéreos. Los condensadores no son adecuados para almacenar grandes cantidades de energía en centrales eléctricas eólicas o solares. Esto se debe a que la capacidad de almacenamiento de un condensador depende de la superficie de sus electrodos, lo que requeriría construcciones enormes y por lo tanto costosas, similares a las baterías de estado sólido.

10.5 Depósito de energía magnética

Bobina magnética

Se puede recuperar la energía magnética almacenada en este campo, nuevamente como energía eléctrica, cuando se desactiva el flujo de corriente eléctrica a través de la bobina. La energía magnética almacenada en este campo puede ser extraída como energía eléctrica cuando el flujo de corriente a través de la bobina está desconectado. Si el flujo de corriente a través de la bobina puede configurarse como un circuito eléctrico sin resistencia, una bobina es adecuada como acumulador de energía eléctrica. Con la ayuda de superconductores adecuadamente refrigerados y electrónica de control moderna, tales bobinas superconductoras ya se utilizan como dispositivos de almacenamiento. Pero son extremadamente complejas y caras, y el sistema de refrigeración consume una cantidad relativamente grande de energía. Por lo tanto, las bobinas magnéticas no constituyen un “medio de almacenamiento masivo” práctico para energía.