

Fuentes de Energía

Capítulo 6: Energías renovables, clasificación y usos. Políticas

Autores:

- Antonio Lecuona Neumann. Catedrático del Área de Máquinas y Motores Térmicos. Dpto. De Ingeniería Térmica y de Fluidos, [Grupo ITEA](#), [Universidad Carlos III de Madrid](#), Leganés, España.

2019

La información contenida en este documento sirve de propósito exclusivo como apuntes para alumnos en la enseñanza de la asignatura indicada y ha sido obtenida de las mejores fuentes que se han podido encontrar, generalmente de reconocido prestigio. No obstante el/los autor/es no garantizan la exactitud, exhaustividad, actualización o perfección de su contenido. Por ello no será/n responsable/s de cualquier error, omisión o daño causado por el uso de la información contenida, no tratando con este documento prestar ninguna clase de servicio profesional o técnico; antes bien, se ofrece como simple guía general de apoyo a la docencia. En caso de detectar algún error, rogamos nos lo comunique e intentaremos corregirlo. Puede contener material con copyright © por lo que su reproducción puede no estar permitida.

Introducción al capítulo 6: Energías renovables, clasificación y usos. Políticas

Capítulo de carácter introductor de los temas más específicos sobre renovables de los siguientes capítulos.

Permite:

- Conocer los principios y características generales de las energías renovables más comunes. Su uso puede implicar ciertos contaminantes e impacto ambiental, por lo que será necesario analizar cada una de ellas.
- Entender los beneficios de las renovables en cuanto a reducir las importaciones de combustibles fósiles (España) las emisiones a la atmósfera y aumentar la seguridad energética.
- Entender la necesidad de su mayor penetración, especialmente en la red eléctrica, que permite conectar un productor lejano con el consumidor.
- Entender que su desarrollo continúa, por lo que los costes evolucionan a la baja con el tiempo, ayudados por economías de escala.
- Entender las ayudas e incentivos actualmente usadas en la promoción de las energías renovables, en base a sus mayores costes internos y menores costes externos. Entorno regulatorio, con referencia a Europa y España. Conceptos de subvenciones, primas a la producción, exenciones y reducciones tributarias, simplificaciones administrativas, así como facilidades legislativas y financieras.
- Adentrarse en el control (tensión y frecuencia) y la gestión de la red eléctrica y cómo la penetración de las renovables en ella y en sistemas energéticos avanzados en general puede alterarlos, especialmente por su variabilidad temporal. Conceptos de potencia de respaldo y tiempos de reacción en la regulación centralizada de la red de las distintas tecnologías.

Introducción de los conceptos de autoconsumo y centrales virtuales como ampliación, así como de un algoritmo básico de coste a través de un ejercicio resuelto y de factor de capacidad FC .

La materia se compone del núcleo expositivo, lo complementan temas recordatorios y de ampliación (señalados como *ex cursus*), cuestiones de autoevaluación y ejercicios resueltos y propuestos sin resolver.

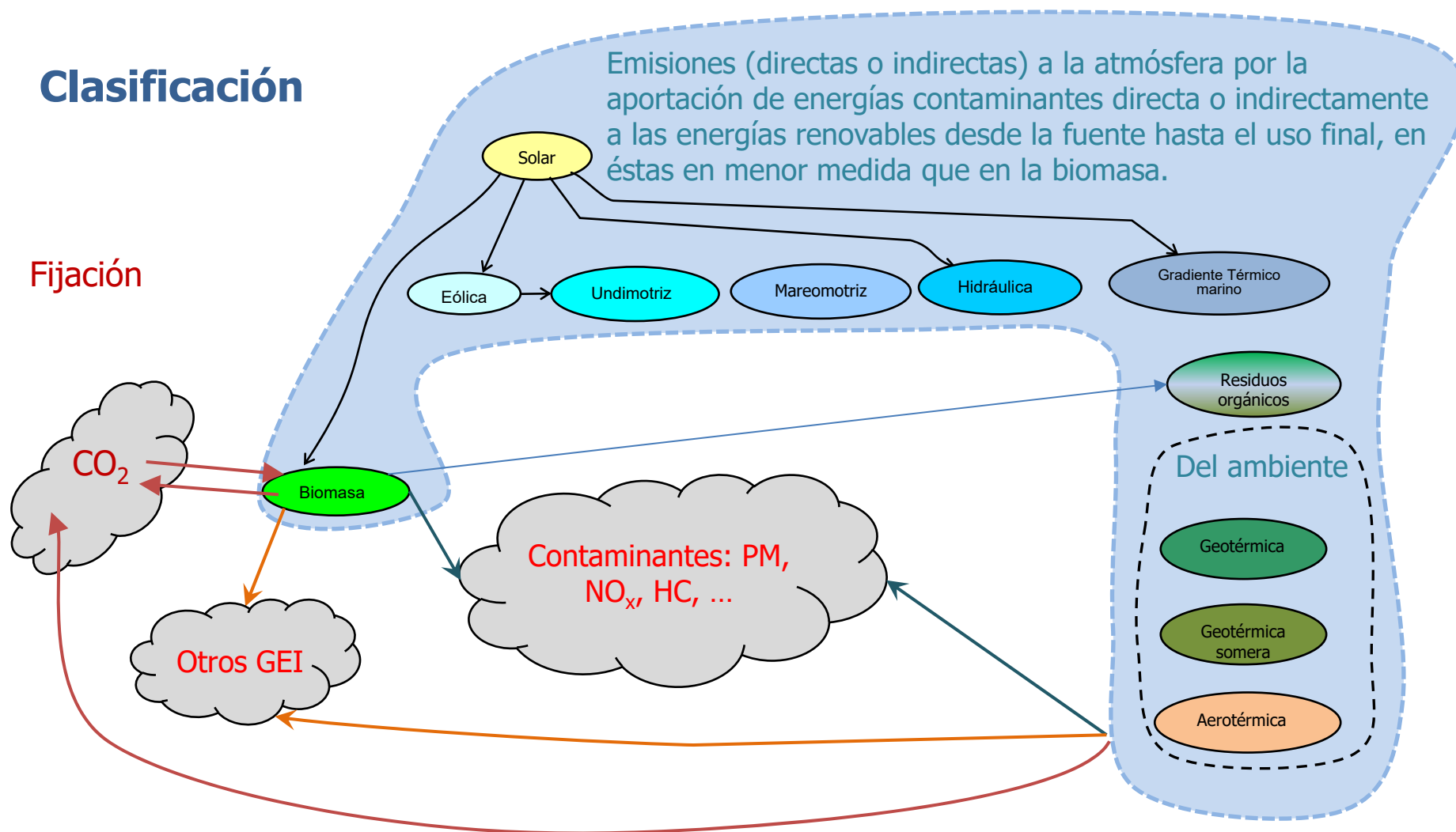
Índice

- 6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas.
- 6.2.- Coste nivelado de la electricidad renovable
- 6.3.- Políticas en España.
- 6.4.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables.
- 6.5.- El autoconsumo eléctrico.
- 6.6.- La renovables en un sistema energético avanzado.
- 6.7.- Ejercicios propuestos.
- 6.8.- Bibliografía.
- 6.9.- Cuestiones de autoevaluación.
- 6.10.- Actividades propuestas.

Objetivos: A pesar del bajo consumo mundial de renovables ($\approx 3\%$), la transición energética está en marcha en países europeos, impulsada por la posibilidad de un cambio climático desastroso y por el deseo de no depender de la importación de combustibles fósiles, de recursos finitos. De ello se deriva una mayor y creciente participación de renovables en estos países, a menudo apoyadas por los gobiernos. Este capítulo ofrece obtener un conocimiento básico. Ante la tendencia a la electrificación y a una mayor penetración de la electricidad renovable en la red, se ofrece materia para entender parámetros básicos, control, y gestión de la red eléctrica española contemporánea, e incluso avanzada.

6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas (cont.).

Clasificación



[Elaborado por el autor]

Figura 6.1.- Inventario y emisiones directas y/o indirectas, véase la Fig. 2.6.

6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas (cont.).

Estado actual en el mundo:

Las renovables **eléctricas**:

- Ya se instalan en el mundo más renovables que con gas y petróleo juntos y sigue aumentando.
 - En países desarrollados el coste de instalación de la fotovoltaica (PV) es menor que la eólica.
 - En el tercer mundo (58 mercados) en 2016 el coste de instalación de la solar fotovoltaica y eólica de gran tamaño se igualó y logró $1,7 \text{ US\$/W}_e$ descendiendo más rápidamente el coste de la fotovoltaica.
 - En el mundo en 2016, la solar PV, con 70 GW_e , superó a la eólica con 59 GW_e nuevos instalados.
 - En países desarrollados las renovables comienzan a competir con la muy establecida cesta de la electricidad fósil.
 - En países emergentes, con un sistema eléctrico fósil menos desarrollado, las renovables compiten, incluso sin subsidios. La electricidad fósil aún es necesaria para el respaldo.
- * En potencia instalada se refiere a W nominales o pico (W_p). [Ver costes](#).

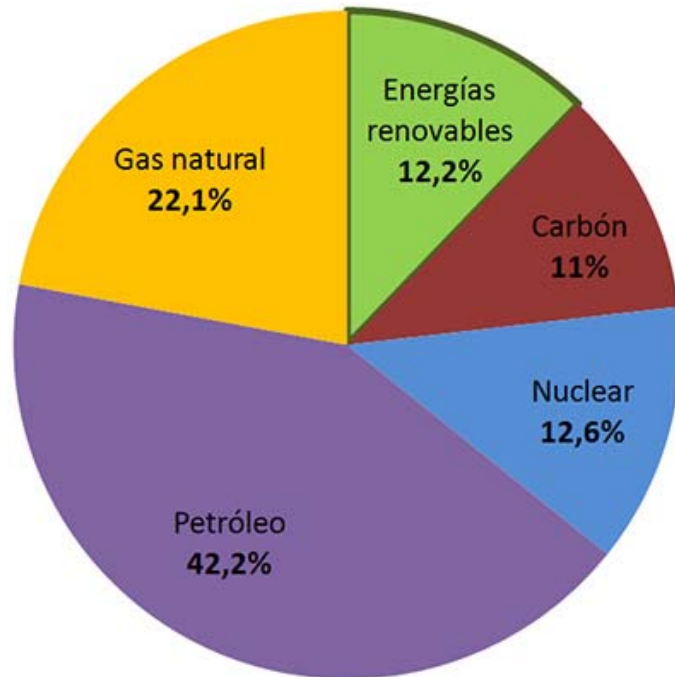
6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas (cont.).

Características:

- Las fuentes de energías renovables se encuentran **dispersas**, por lo que generalmente:
 - Las centrales son de **pequeña potencia**, salvo hidroeléctrica (aunque hasta ~ GW en China). Ello implica un coste mayor al repartirse entre menos potencia los costes fijos.
 - Están bastante distribuidas:
 - Pueden estar **cerca del consumidor**, lo cual dispersa la producción (**generación distribuida**) reduciendo riesgos, reduce los costes y pérdidas en el transporte, p. e. fotovoltaica sobre cubierta. Se posibilita el **autoconsumo**.
 - Pueden estar **lejos del consumidor**, p. e. solar/eléctrica en África del norte y tener que ser transportada a Europa, véase proyecto **DESERTEC**, p. e. biocombustibles de Argentina e Indonesia, consumidos en España.
 - Su despliegue disperso puede significar un **impacto en el medio ambiente** importante, aunque eventualmente reversible, p. e. impacto paisajístico de la eólica o p. e. cultivos energéticos intensivos.
- **Variables en el tiempo**. Algunas incorporan almacenamiento, p. e. biomasa y termosolar.
 - Su variabilidad en el tiempo exige un sistema eléctrico con mayor respaldo de producción de rápida respuesta, **aumentando el coste de la electricidad, pero también la competencia impulsando el precio del kWh a la baja**.
- Son:
 - ☺ **Autóctonas**, por lo que pueden **reducir la dependencia energética** del exterior.
 - ☺ **Crean empleo local** por lo que resultan socialmente positivas.
 - ☺ **Contribuyen a la diversificación energética**, disminuyen así el riesgo de un colapso energético por carencia del suministro importado o de una de las renovables.
 - ☺ El consumo cerca de la producción favorece la **responsabilidad del consumidor**.

6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas (cont.).

España, cobertura de renovables al consumo



Balance Energético 2012. MINETUR. [uso permitido citando fuente original]

Fig. 6.1tri.- Cobertura del consumo de **energía primaria** en España 2012. **Renovable 12,2%**. NOTA: Según la **Fig. 1.7** el 37% del consumo primario de España (en año anterior) va a **consumo eléctrico**. Objetivo Europa 2020, 20% de renovables en 2020.

Origen de la generación eléctrica en España (2014)

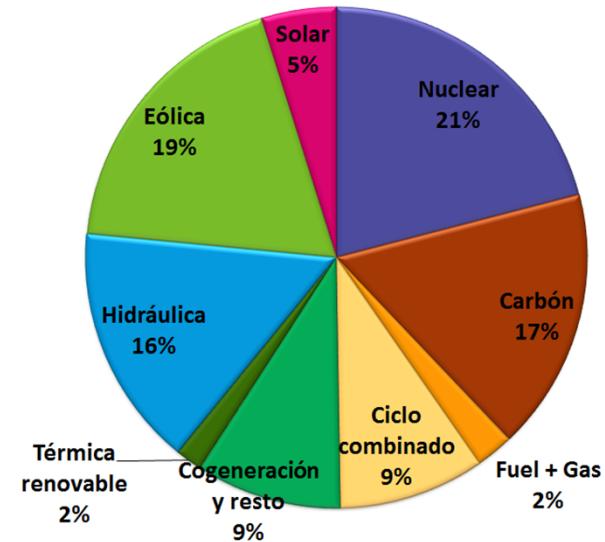


Fig. 6.1cua.- Cobertura del **consumo eléctrico** en España. **Renovables 47%**. La eólica supera a la hidroeléctrica. Entre las no renovables, la nuclear ha sido mayoritaria, contribuyendo a limitar las emisiones de CO₂. Fuente: [Wikipedia](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44607170) De Zmzmzm2 - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44607170>. Accedido el 13/03/2020

- Luego, la electricidad en España es más renovable que las aplicaciones térmicas.

6.1.- Energías renovables, clasificación, características y perspectivas (cont.).

Perspectivas

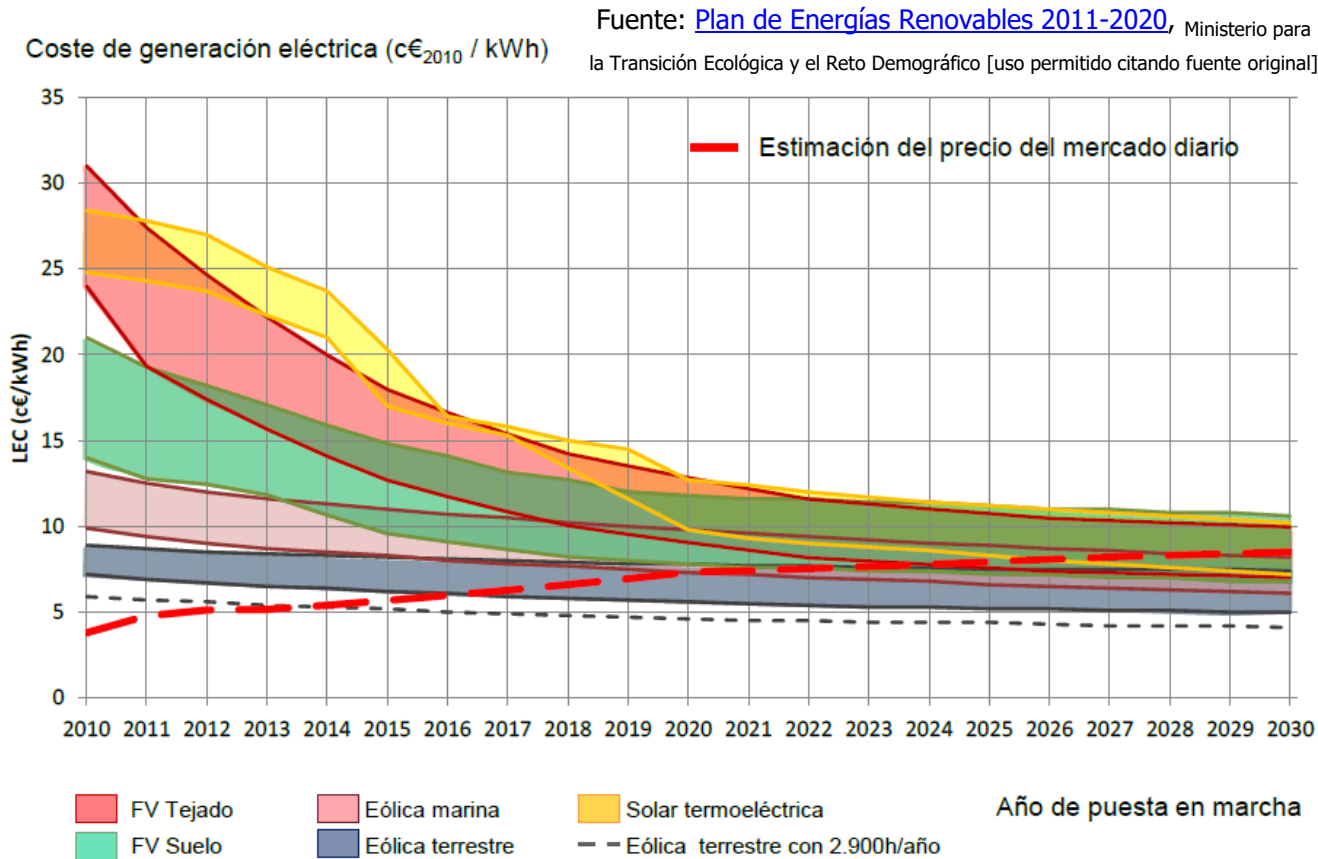
- Algunos visualizan un sistema energético basado en la red de electricidad tras el agotamiento del petróleo, incluyendo conversión de baja eficiencia de la electricidad en combustibles sintéticos (H₂, alcoholes ...) para su uso final aprovechando su capacidad de almacenamiento y portabilidad, como evolución de la actual conversión de baja eficiencia de combustibles en electricidad [1].

Objeciones

- ✓ Estos estudios minimizan la importancia del almacenamiento de electricidad en **volantes de inercia**, **baterías y ultra-condensadores** u otra tecnología emergente (p. e, **células de combustible reversibles o de flujo**) o incluso establecida, como el **bombeo de agua**, más eficiente que la producción local de combustibles sintéticos.
- ✓ La intermitencia de las energías renovables habría de ser acomodada en el sistema eléctrico con **inversiones muy cuantiosas**, aún por venir: a) sistemas de transmisión de energía transfronteriza (energías de procedencia solar hacia el Norte y energías eólica, hidráulica y bio hacia el Sur), b) sistemas de almacenamiento y de **generación de respaldo** suficientes. Serán necesarias facilidades administrativas que aumenten la confianza en un suministro seguro y que permitan la financiación a largo plazo que la electricidad renovable requiere.
- ✓ La producción directa de biocombustibles, preferiblemente líquidos, es actualmente una fuerte corriente de I+D, sea a partir de residuos, cosechas o por fotosíntesis de los mismos. Por ello cabe esperar una sustitución de las actuales gasolinas y gasóleos por variantes bio, puras o en mezcla con combustibles de origen fósil, sin pasar por la electricidad. Se han de resolver problemas de interferencia con la producción de alimentos y reducción de la biodiversidad. Por otro lado, el empleo de la biomasa sólida para aplicaciones térmicas es una realidad en crecimiento constante, a pesar de emitir humos contaminantes.
- ✓ Las técnicas de energía renovables se irán abaratando por el progreso tecnológico y por economías de escala. Podrá llegar un momento en que resulten más baratas que las fósiles, véase la **Fig. 6.2, incluso en tamaños pequeños**, pudiendo así suministrar localmente (autoconsumo, centrales de barrio, etc.) y eventualmente almacenarse localmente también si la tecnología avanza.

6.2.- Coste nivelado de la electricidad renovable .

Figura 6.2.- Comparación de los costes nivelados y la estimación del precio del mercado eléctrico. Tecnologías eólicas y solares.



NOTA: La FV ha bajado el precio de los paneles sustancialmente hasta $< 1 \text{ €/W}_p$. Constituye $\approx 30\%-50\%$ de la inversión. Por ello el coste de su electricidad ha bajado, aunque en menor proporción.

El **precio** del consumo final de la electricidad en España es del orden del doble del coste de la energía. Pues a él es necesario añadir:

- **coste fijo** creciente con los kW contratados $\sim 40 - 50 \text{ € kW}^{-1}\text{año}^{-1}$.
- costes de la red.
- impuestos.

- Mientras se alcanza la paridad en precios las ayudas tienen justificación.
- Nota, hasta 2019 el **precio** medio en el mercado mayorista español de electricidad ha rondado los 4,2 y los 5,0 €/MWh. [OMIE](#). [Muy recientes precios](#).

6.2.- Coste nivelado de la electricidad renovable.

LCOE de producción de electricidad y previsiones como función de la potencia acumulada mundial [MW] y año de alcance:

- Paridad con los **fósiles** (40 a 150 €/MWh) alcanzada, o por alcanzar, para algunas tecnologías y consolidación futura.
- En 2020, la electricidad *Wind Offshore* (marina, ≈ 70 €/MWh) es más costosa que la *Onshore* (terrestre ≈ 40 €/MWh), pero no necesita terreno, hay un potencial enorme y muestra en la un abaratamiento más rápido.
- **La electricidad despachable es más costosa que la fotovoltaica PV, aunque permite vender electricidad más cara (horas pico).**
 - ✓ En 2020, la CSP (Termosolar eléctrica con almacenamiento) es más barata ≈ 80 €/MWh que la electricidad almacenada en baterías ≈ 150 €/MWh.

Referencias: [IRENA](#) [El Periódico de la Energía](#)

6.3.- Políticas en España.

A modo de ejemplo, ver [PER 2011-2020](#) y [PANER 2011-2020 Plan de Transición Energética 2021-2030](#).

- Generalmente las energías renovables pueden ser **más costosas que las fósiles** y la nuclear, salvo en lugares aislados o remotos, p. e. Canarias y Baleares, y en instalaciones aisladas.
- Por el pequeño tamaño → **mayores cargas**: burocráticas, de gestión y costes fijos mayores.
- **Ventajas no remuneradas de las renovables**. Menores costes externos ([Cap. 1, ap. 1.11](#)) y riesgos medioambientales, ahorro de divisas por la importación de combustibles fósiles.
- Las renovables son **nuevas tecnologías** que conviene apoyar para lograr competitividad y empleo.

Todo ello sugiere compensar a las renovables con ayudas, que se concretan en:

1. Política de **reducciones fiscales**, véase [Cap. 1, ap. 1.10](#).
2. Políticas de **financiación favorables** (menores intereses, facilidades de tramitación, reducción de avales y garantías).
3. **Subvenciones directas** a la creación de infraestructuras, % del coste de adquisición.
4. **Primas a la producción renovable** €/kWh adicional al precio de venta, o tarifas de retribución superiores al valor de mercado.
5. Políticas de **fácil acceso**, p. e. toda la electricidad producida en el régimen especial de la producción de energía eléctrica o sustituto posterior ha de aceptarse en la REE, aunque su precio de venta fuera nulo.
6. **Adaptación de la normativa** para considerar las peculiaridades de las renovables.

6.3.- Políticas en España (cont.).

Propuesta de Ley de Cambio Climático y Transición Energética, mayo 2020.

- Permitirá avanzar hacia la descarbonización de la economía y, en particular, de la generación eléctrica, cumpliendo los objetivos del [PNIEC](#) y del [Pacto Verde Europeo](#) (2050: emisiones neta nulas, incluyendo agricultura neutra en carbono, electricidad 100% renovable y automoción 100% eléctrica ¿[biocarburantes?](#)). Pasos intermedios:
 - Se propone reducir las emisiones de [GEI](#) en al menos un 20% con respecto a 1990 para 2030 y 35% del consumo final de energía que sea renovable. [Un artículo](#).
 - Propuesta en España 2030, 42% de consumo final renovable y de generación eléctrica 70% renovable, desglose:

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)					
Año	2015	2020	2025	2030	
Eólica	22.925	27.968	40.258	50.258	× 2,2
Solar fotovoltaica	4.854	8.409	23.404	36.882	× 7,6
Solar termoelectrica	2.300	2.303	4.803	7.303	× 3,2
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609	~
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687	~
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837	× 2,1
Biogás	223	235	235	235	~
Geotérmica	0	0	15	30	Empieza (superficial y profunda)
Energías del mar	0	0	25	50	Empieza (undimotriz y eólica marina)
Biomasa	677	877	1.077	1.677	× 2,5
Carbón	11.311	10.524	4.532	0-1.300	A desaparecer
Ciclo combinado	27.531	27.146	27.146	27.146	~ Respaldo
Cogeneración carbón	44	44	0	0	A desaparecer
Cogeneración gas	4.055	4.001	3.373	3.000	× 0,74
Cogeneración productos petrolíferos	585	570	400	230	× 0,39
Fuel/Gas	2.790	2.790	2.441	2.093	× 0,75
Cogeneración renovable	535	491	491	491	¿?
Cogeneración con residuos	30	28	28	24	¿?
Residuos sólidos urbanos	234	234	234	234	~ ¿A biogás?
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181	× 0,43 Respaldo, desmantelamiento programado
Total	105.621	113.151	137.117	156.965	× 1,5 Aumento (¿reducción en otros sectores?)

Desaparición lenta

6.2.- Políticas en España (cont.).

Cuantía total de las ayudas en forma de primas en España:

- 6.521 millones de euros en 2009
- 7.066 millones de euros en 2010
- 6.984 millones de euros en 2011
- 8.585 millones de euros en 2012
- 9.000 millones de euros en 2013
- 7.300 millones de euros en 2014
- 6.000 a 7.000 millones/año Hasta 2019

- Según "[El Economista](#)" del 23/05/2014 las renovables recibirán 200.000 millones de € en los 20 años de vida de estas tecnologías, en forma de primas, usando fuentes del Ministerio.
- Según "[Energías Renovables](#)" del 03/06/2014 en los próximos 10 años España gastará 500.000 millones de € en importaciones de petróleo ⇒ ~ 2,5 veces las primas, si bien las renovables actuales no sustituyen al petróleo.
- [Artículo más reciente 2019.](#)

Déficit de tarifa a 2013: 30.000 millones (se produce porque los ingresos vía tarifas igualitarias del sistema eléctrico son inferiores a los costes de la actividad regulada reconocidos por el gobierno).

Ayudas a la minería del carbón español no competitivo: 67.000 millones entre 2013 y 2018 en que no cerraron del todo, sino en 2019. [Artículo 2019](#). [Cierre y restauración](#).

¿Es sostenible esta evolución?

¿Sería necesario que se impusiera una parada de 10 a 15 años a ciertas instalaciones energéticas?, p.e. centrales de ciclo combinado a gas.

- La construcción de las centrales nucleares de Lemóniz y Valdecaballeros se abandonó y durante 15 años se pagó una "moratoria nuclear" en la tarifa por el pago a las compañías constructoras de la inversión realizada por petición del estado. Ha repercutido en el recibo

6.3.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables.

1.- Del lado del generador:

Un generador cualquiera, y especialmente una amplia integración de la generación renovable en el mix, ha de cumplir unas ciertas condiciones, incluyendo la gestionabilidad (capacidad de producir cuando se necesita):

- **Estabilidad:** Mantener la tensión y el sincronismo con la red ante perturbaciones transitorias (10^{-3} a 10 s) propias o de la red.
- **Firmeza:** Cumplimiento de la programación intra-diaria ofrecida.
- **Controlabilidad:** Capacidad de responder a las demandas adicionales de la red variando la potencia rápidamente.

} Gestionabilidad

2.- Del lado de la red:

Herramientas de Red Eléctrica Española (REE) para la integración de renovables:

- CECRE, Centro de Control de Energías Renovables, que gestiona y controla la generación de todos los productores de energías renovables y cogeneración instalados en nuestro país para asegurar la cobertura de la demanda con la participación de energías intermitentes.
 - Las de > 1 MW han de informar en tiempo real.
 - Las centrales de > 10 MW tienen que estar conectadas informáticamente.

Pertenece al: CECOEL Centro de Control Eléctrico de Red Eléctrica, el cual emite las instrucciones de operación del sistema de producción y transporte con el fin de garantizar la seguridad y calidad del suministro eléctrico. Véase mercado eléctrico español.

6.3.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables (cont.).

- REGULACIÓN DE LA RED combinando **generador-control de la red**.

- I. Si la demanda es mayor que la producción, los generadores eléctricos giratorios se deceleran cayendo la frecuencia y la tensión.
- II. Si la demanda es menor que la producción, se aceleran y la tensión sube.

Respuesta

0. De inmediato, la **inercia térmica y mecánica** de una central térmica amortigua los desequilibrios de la red (pasivamente) afectando a la estabilidad, antes de que actúe el sistema de control o regulación (activamente). *P. e. la fotovoltaica carece de inercia, salvo que disponga de acumulación.*
1. En 2-20 segundos el sistema de **regulación primaria** permite restablecer el régimen de giro y la tensión localmente. *P. e. con el aporte de vapor, contando con la acumulación que supone el calderín de acumulación de agua antes de la turbina, cambiando el aporte de combustible en motores alternativos, o modificando el caudal de agua en hidroeléctricas.*
3. En 0,3-2 minutos la **regulación secundaria** altera la potencia sustancialmente para: atender a la baja (reduciendo potencia) o a la alta (aumentando potencia) **por demanda del control de la red**. Es menos agresiva que la regulación primaria, al evitar sobrecargas térmicas transitorias a la maquinaria; supone cambios operativos más diversos y está centralizada en la red para evitar inestabilidades. ***Afecta a áreas vecinas de la red.***
4. En 2-10 minutos. Se atiende una capacidad (controlabilidad y firmeza), entrando en la **regulación terciaria por demanda del control de la red**. Tiene por objeto resolver los desvíos entre generación y consumo y restituir la reserva de regulación secundaria utilizada. P. e. restituye la capacidad secundaria de las centrales cercanas a plena potencia, reasignando potencia, si la red de transporte lo permite. ***Cubre un área extensa de la red.***

Intervención del **control de la red, CECOEL**: p. e. modificando el aporte de carbón, el cual tiene que arder, formar vapor y que éste llegue a la turbina. P. e. variando la inyección de combustible en TG y CC.

6.3.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables (cont.).

• REGULACIÓN DE LA RED (cont.)

Para respaldar a las renovables, actualmente se usan:

- Las [centrales hidroeléctricas](#) como la tecnología convencional de más rápida respuesta para ayudar a estabilizar la red. Incluye las reversibles.
- Los [motores Diésel](#) y de gas responden también rápidamente, aunque de potencia pequeña (< 20 MW/motor). Les siguen las [turbinas de gas](#) en ciclo simple, escasas en España; tienen la flexibilidad de poder consumir gasóleo ante una falta de gas.
- Los [ciclos combinados](#) (CC), consumen gas, siguen en capacidad de respuesta, aunque su gran tamaño y la parte de vapor les impide responder muy rápido. Las turbinas de gas ([TG](#)) tienen limitada la rampa de potencia $\%W_{\max}/\text{minuto}$ y aún más se limita para las [TVs](#).
- Las [centrales de carbón](#) tardan horas en variar su potencia de forma sustancial y mantenida.
- Las [centrales nucleares](#) típicamente no cambian de potencia, aunque tienen cierta capacidad con tiempos de reacción de varias horas. Las más avanzadas (Francia y Alemania) pueden pasar del 30% al 100% en 20 minutos. [Información](#).
- Se trabaja en introducir **almacenamiento** de potencia externo a las centrales, en [súper-condensadores](#), [volantes de inercia](#) y [baterías](#), caracterizados por poder variar su potencia muy rápidamente y de forma bidireccional. Su elevado coste actualmente en España los limita a estabilizar experimentalmente redes de pequeño tamaño, tensión y frecuencia, como en Canarias, Ceuta y Melilla. Baleares cuenta con línea conectada a la Península que estabiliza su red.
- Hay centrales con almacenamiento incluido, como las de [reversibles de bombeo](#), y las [termosolares](#).
- La penetración de renovables (salvo hidroeléctrica) más allá de uno 30% de la potencia eléctrica instalada exige centrales de respaldo y posibles inversiones en la red para soportar su variabilidad.

6.3.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables (cont.).

- REGULACIÓN DE LA RED (cont.)

Nuevas técnicas:

- La [centrales virtuales](#). Reúnen un conjunto más o menos heterogéneos de pequeñas capacidades de producción distribuidas, consumos y almacenamientos eléctricos para de una [forma unificada](#) frente a la red y el mercado (usando Internet), contribuir a la regulación secundaria y obtener un beneficio de ello a los distintos propietarios de las capacidades.
- Una VPP ([Virtual Power Plant](#)) consiste en un software remoto que ayuda a regular el consumo particular de la energía conectando, coordinando, y monitorizando los generadores de energía descentralizados, los de almacenamiento, y los de consumo controlable, eventualmente usando una [Smartgrid](#).
- Ofrecen:
 - Reducir el impacto en el medio ambiente, disminuir las interrupciones por picos de demanda en la red ([servicios auxiliares](#)) y ofrecer una mayor flexibilidad a los clientes.
 - Previsiones más eficientes y mejora la toma de decisiones operativas.
- Ejemplo: Central de cogeneración con baterías, eventualmente reunida con productores domésticos de PV, con automóviles eléctricos, pequeñas aeroturbinas y generadores de respaldo.
- [Ejemplo](#) de almacenamiento térmico: Almacén frigorífico que durante períodos de excedente de viento, el pescado congelado se enfría hasta los -24 °C; en momentos de calma puede interrumpirse la generación de frío hasta que la temperatura sube hasta los -18 °C.
- [Posible entrada del consumidor y del almacenamiento en los servicios de balance del sistema eléctrico.](#)

6.3.- Gestionabilidad e integración en la red eléctrica de las renovables (cont.).

- EL RÉGIMEN ESPECIAL o el equivalente posterior "régimen retributivo específico" EN ESPAÑA:
 - **Biomasa, cogeneración y eliminación de residuos** son gestionables y la termosolar por el almacenamiento y la hibridación (combustión de apoyo para cuando no hay sol).
 - La **eólica y la fotovoltaica** podrían ser diseñadas para ser estables con almacenamiento local de corto plazo y relativamente firmes dependiendo del sol, pero actualmente su controlabilidad solo se basa en bajar la potencia o desconectar unidades.
 - La **hidroeléctrica** es la más gestionable, pues puede variar su potencia instantáneamente y además puede consumir electricidad bombeando agua a voluntad, con las reversibles.
- REGIMEN ORDINARIO son de producción eléctrica convencional:
 - Los motores Diésel y de gas solo se emplean en lugares remotos (islas), emergencia (se mantienen calientes) y cogeneración de pequeña potencia.
 - Las **centrales de gas (Brayton y CC)**. Responden rápidamente en decenas de minutos si están calientes (standby), actuando de respaldo. Se usan para seguir la demanda, centrales de pico.
 - Las **centrales de carbón** son generalmente de base (todas las horas del día) por el bajo LCOE.
 - Las **nucleares**. Funcionan a máxima potencia continuamente (base), salvo en ciertos periodos de inactividad o funcionamiento a carga parcial por cuestiones técnicas.
 - Las Diésel (pocas) y alguna hidroeléctrica. Responden muy rápidamente, minutos, centrales de pico.
- En España durante noches muy ventosas la eólica tiene que vender a precio nulo (recibiendo solamente primas, en su caso), o bien reducir la producción voluntariamente.
- **Las recientes disposiciones nacionales han eliminado esta distinción de regímenes.** Sin embargo existe una distinción entre tecnologías que permite a algunas de ellas (básicamente las del anterior Régimen Especial) a recibir primas para asegurar una "rentabilidad razonable".

6.4.- El autoconsumo eléctrico.

- Se considera como tal disponer en edificios o industrias no energéticos de capacidad de generación eléctrica, generalmente de potencia parecida la contratada para el consumo de la red.
- Si se está conectada a la red se puede prescindir de almacenamiento local en baterías, actuando la red como fuente y sumidero de electricidad solo limitado por contrato y pagando un peaje. Disponer de baterías permitiría:
 - Adecuar la curva de producción (baterías incluidas) a lo largo del tiempo a la de consumo del cliente, disminuyendo así la potencia y la energía trasegada con la red, pudiendo llegar a ser nula (aislada de la red).
 - Ayudar a la red absorbiendo de ella y almacenando cuando hay excedentes de producción.
- Es necesario disponer de un contador diferencial para poder proceder a la facturación. Es neta ([balance neto](#) o [net metering](#)) cuando la compañía suministradora solo cobra el neto consumido. El precio de la electricidad comprada a la red puede diferir del de la vertida a ella, de acuerdo a tarifas, contratos o dependiendo de la hora. Este concepto supone asumir que la red es una fuente y sumidero infinito.
- Puede ser necesario pagar una tasa de respaldo por usar la red, como es el caso de España. Llamase impuesto al sol al pago sin inyectar a la red, eliminado en octubre 2018.
- La fotovoltaica es la auto-generación más habitual, aunque la micro-eólica existe también, dentro de las renovables. La nano/micro-cogeneración puede ser también, si bien esta última se rige por otros parámetros y puede ser con combustibles renovables o fósiles.
- **En pro:** Reducción de:
 - Carga sobre la red, aliviando la necesidad de su ampliación, aunque depende de que casen el perfil de producción con el de consumo de la red y que se genere en el lugar adecuado para la red.
 - Vulnerabilidad de la red por mayor generación distribuida, difícil que falle todo a la vez.
 - Riesgos del usuario frente a apagones y/o aumentos del precio de la electricidad de red.
 - Precio de la electricidad de la red por competencia mayor.
 - Emisiones a la atmósfera, reduciendo con ello los gastos sanitarios y el impacto ambiental.
- **En contra:** Aumento de:
 - Dificultades de control de la red si no se dispone de coordinación.
 - Coste de los usuarios: financieros, seguros y servicios técnicos y de gestión por disponer de instalaciones propias.

6.5.- Las renovables en un sistema energético avanzado (*ex cursus*).

- La integración de las renovables, sin contar de forma masiva con el almacenamiento que suponen las energías fósiles, necesita de un sistema energético lo suficientemente flexible, en definitiva dotado de inteligencia, que asegure un suministro fiable y eficiente que resulte económicamente viable y por supuesto, sostenible. Un esquema de un tal "Smart Energy System" es el siguiente, según el Prof. Henrik Lund de la Aalborg University, 2015 Annual Report de la EU Academy of Sciences. Puede verse que en lugar de un sistema lineal como el actual (*generación-transporte-consumo*), está interconectado. De esa manera los sectores eléctrico, térmico y de transporte se combinarían para compensar la falta de flexibilidad de las renovables, como el sol, el viento y los biocombustibles. Los "power exchanges" son con regiones de características distintas (p. e. transnacional):

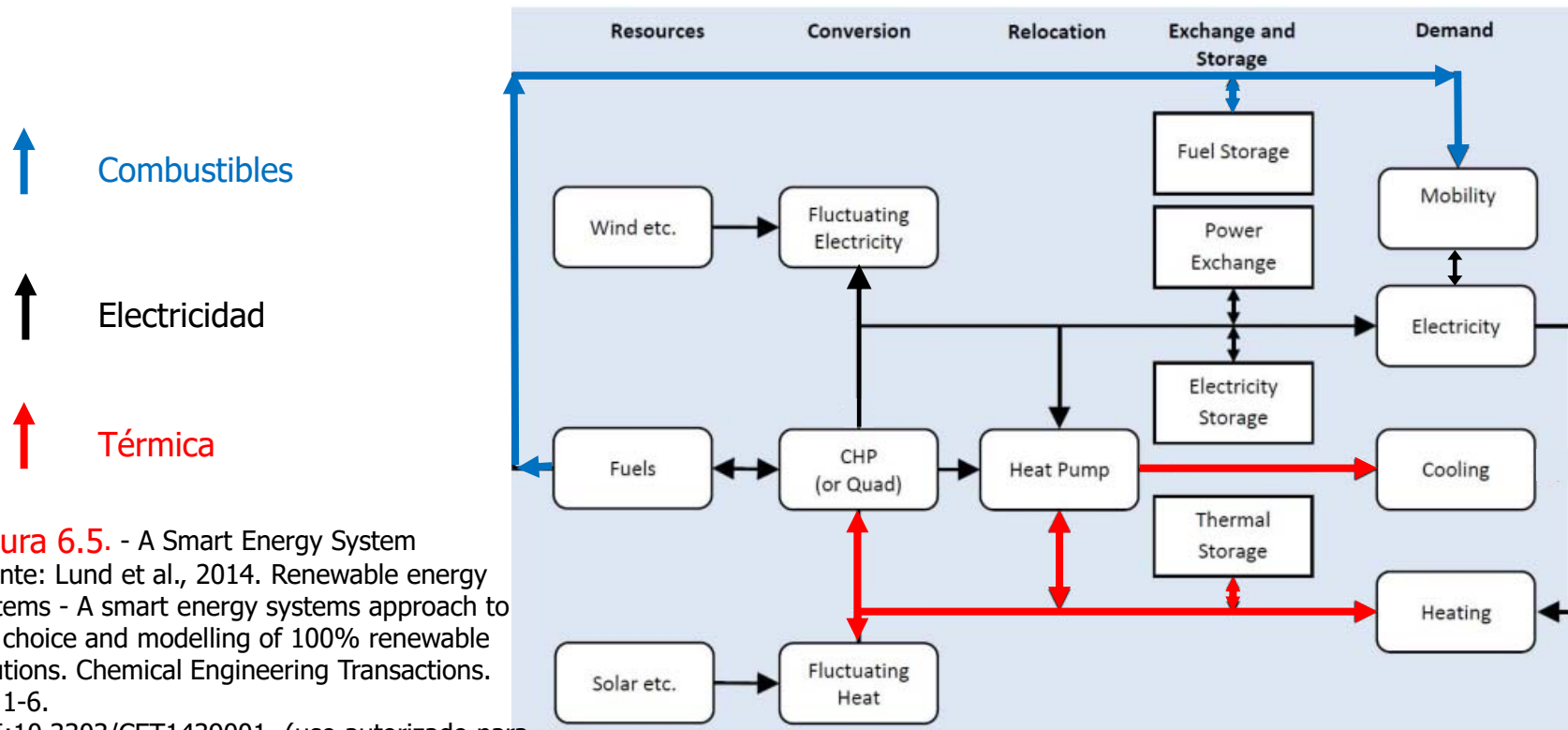


Figura 6.5. - A Smart Energy System
 Fuente: Lund et al., 2014. Renewable energy systems - A smart energy systems approach to the choice and modelling of 100% renewable solutions. Chemical Engineering Transactions. 39. 1-6.
 DOI:10.3303/CET1439001. (uso autorizado para este curso sin que se haga uso comercial).

6.6.- Ejercicios propuestos

Ejercicio 6.1: Por información recabada en Internet se tienen los datos de las energías renovables a nivel mundial que son empleadas para la producción de electricidad en red. Determine el factor de capacidad FC medio de cada una de ellas y la media mundial.

Solución: El factor de capacidad es el % del tiempo anual que la central pudiera estar funcionando a su potencia nominal W_e para producir la energía real E . Luego, $FC[\%] = \frac{E \times 100}{W_e 365,25 \frac{\text{día}}{\text{año}} 24 \frac{\text{h}}{\text{día}}}$. Tomando datos del informe 2013 Lahmeyer REMIPEG Report, <http://www.renewableenergyfocus.com/view/40266/renewable-power-generation-2013/> el 20/12/2014, resulta,

6.6.- Ejercicios propuestos (cont.)

Ejercicio 6.2: Busque información acerca de la reserva en los generadores de electricidad, su clasificación de cara a la estabilidad de la red y cómo puede complementarse con almacenamiento de electricidad. Compare ello con el almacenamiento de electricidad.

Solución: La reserva de potencia suele clasificarse en:

- 1. Reserva rodante** (spinning). Capacidad generadora que está conectada pero no produce. Ha de ser capaz de responder en menos de 10 minutos. Sirve para compensar caídas de generación o de transporte. Si es capaz de reaccionar en 10 segundos es útil para mantener la frecuencia y tensión de la red. Está retribuida.
- 2. Reserva fría.** Está desconectada, pero es capaz de sincronizarse con la red en 10 minutos, por lo que empieza a estar disponible a partir de ese momento.
- 3. Respaldo.** Ha de estar disponible en 1 hora.

El **almacenamiento de electricidad:**

- Permite tener lo equivalente a reserva rodante, sin el coste que supone tener capacidad ociosa.
- Puede reducir o evitar contratar kWh en picos de demanda.
- Puede situarse en puntos de conveniencia:
 - **Cercano a la generación solar o eólica** permite cumplir con la potencia comprometida a pesar de la intermitencia del recurso natural y su no gestionabilidad.
 - **Cercano al consumo** y con la capacidad conveniente permite evitar picos en las líneas de transporte a causa de picos de consumo. Permite tener unos minutos de alimentación ininterrumpida (SAI o UPS).
- Con la electrónica adecuada permite generar potencia reactiva.

6.6.- Ejercicios propuestos (cont.)

Ejercicio 6.3: Para un informe rápido de viabilidad para riego por gravedad se cuenta con I.- Un precio unitario del consumo del agua de la red de $c_{red} = 0,5 \text{ €/m}^3$ y un coste de la acometida privada de $C_A = 3.000 \text{ €}$, con mantenimiento a cargo de la compañía suministradora. II.- Alternativamente, la extracción con células fotovoltaicas de agua subterránea, el pozo cuesta $C_{po} = 6.000 \text{ €}$ y el aljibe de almacenamiento $C_{al} = 12.000 \text{ €}$, incluyendo la instalación hidráulica y eléctrica. Se cuenta con un coste de operación y mantenimiento a lo largo de toda la vida operativa del 50% del coste de adquisición inicial y se puede asumir intereses del capital nulos. Se tiene previsto instalar un área $A_a = 10 \text{ m}^2$ de paneles policristalinos con un coste llave en mano de $c_{PV} = 3 \text{ €/W}_p$; de [eficiencia pico](#) $\eta_{PVp} = 0,15$ con una irradiancia normal a la superficie efectiva A_a de 1.000 W/m^2 . La producción media esperada es de $p = 10 \text{ m}^3/\text{día}$. Considere una vida esperada de todo equipamiento de $n = 20$ años, con valor residual nulo. Compare el coste unitario resultante del agua fotovoltaica con la de suministro. Indique si sería conveniente instalar baterías. **Solución:**

Considerando la acometida amortizada en igual periodo: $c_{red} = \frac{C_A/n}{p} + c_{red} = \frac{3.000 \frac{\text{€}}{20 \text{ año}}}{10 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 365,25 \frac{\text{día}}{\text{año}}} + 0,5 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 0,54 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$

$$C_{PV} = \frac{\text{Coste anual}}{\text{Producción anual}} = \frac{(C_{po} + C_{al} + c_{PV} A_a G_T \eta_{PVp})/n}{p} = \frac{1,5(18.000 \text{ €} + 3 \frac{\text{€}}{\text{W}_p} 10 \text{ m}^2 1.000 \frac{\text{W}_S}{\text{m}^2} 0,15 \frac{\text{W}_p}{\text{W}_S})/20 \text{ año}}{10 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 365,25 \frac{\text{día}}{\text{año}}} = 0,46 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$\frac{1.687,5 \text{ €/año}}{4.500 \text{ €}}$
 $\frac{4.500 \text{ €}}{1,5(18.000 \text{ €} + 3 \frac{\text{€}}{\text{W}_p} 10 \text{ m}^2 1.000 \frac{\text{W}_S}{\text{m}^2} 0,15 \frac{\text{W}_p}{\text{W}_S})/20 \text{ año}}$

La fotovoltaica resulta favorable. La introducción de baterías no se vislumbra pues el aljibe ya actúa de almacén, aparentemente suficiente, de día a noche e incluso intradiario, de larga vida operativa. Resulta de alto rendimiento, limitado tan solo por la evaporación. Además el pozo dispondrá probablemente de un cierto efecto de almacenamiento a lo largo de la noche. Ambos seguramente resultarán a coste menor.

6.7.- Bibliografía

- [1] Guerrero-Lemus, Ricardo, Martínez-Duart, José Manuel. Renewable Energies and CO2. Cost Analysis, Environmental Impacts and Technological Trends. Springer Verlag, 2012 Edition. Series: Lecture Notes in Energy, Vol. 3. 2013.
- [2] Ortega M. Energías Renovables. Ed. Paraninfo, 2000.
- [3] Stein R. S. Powers J. The Energy Problem. ISBN: 978-981-4340-31-1, 2011.
- [4] Boyle G., Everett B., Ramage J. Energy Systems and Sustainability. Ed. Oxford, 2003.
- [5] Ledesma, P. Operación y Control de Sistemas Eléctricos (2008)
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-electrica/operacion-y-control-de-sistemas-electricos>

Imagen del estado de las redes eléctrica en el tercer mundo, allí donde llegan, y en ciertos países. [Fuente](#) accedido el 13/3/2020. Licencia CCO.



6.8- Cuestiones de autoevaluación

6.1	Las ayudas a las energías renovables consideradas en España solo son primas a la producción (feed-in tariffs)	NO
6.2	En España los préstamos a la adquisición de sistemas de producción de energías renovables son automáticos	NO
6.3	En España actualmente se han anulado todo tipo de ayudas a la producción de renovables	NO
6.4	Cabe esperar que haya ayudas preferenciales a las renovables para siempre	NO
6.5	La necesidad de almacenamiento y/o de capacidad de generación de respaldo en general es algo consustancial a las energías renovables por su variabilidad en el tiempo	SI
6.6	Las renovables tienen absolutamente nulas o neutras emisiones totales de gases contaminantes	NO
6.7	Las ayudas a las renovables son un asunto exclusivamente español	NO
6.8	La electricidad fotovoltaica es gestionable	NO
6.9	La electricidad eólica es netamente gestionable	NO
6.10	La electricidad termosolar con almacenamiento térmico es gestionable	SI
6.11	Aunque las centrales nucleares trabajen a potencia plena de forma continua en España, si trabajasen a baja potencia y se les solicitara potencia, son capaces de responder rápidamente	NO
6.12	La inercia térmica de las centrales termosolares hacen que tengan una excelente estabilidad suministrando la red eléctrica	SI
6.13	De entre las renovables, la hidroeléctrica es la más gestionable y rápida.	SI

6.8.- Cuestiones de autoevaluación

6.14	¿Se emplean las energías renovables solamente para la producción de electricidad?	NO
6.15	A nivel mundial la eólica tiene típicamente un factor de carga del 25%	SI
6.16	Los motores Diésel y de gas responden rápidamente a una solicitud de aumento de carga	SI
6.17	En la legislación española, una central que queme residuos en un motor y con ello genere electricidad y emplee el calor residual en un proceso industrial, logra ayudas del estado por dos vías: por eliminar residuos y por cogeneración	SI
6.18	En la regulación primaria de un generador eléctrico interviene la autoridad de la red eléctrica española (REE)	NO
6.19	La solar termoeléctrica actualmente produce electricidad a un coste (LEC o LCOE) mayor que la fotovoltaica de gran tamaño (FV en suelo)	SI
6.20	La energía nuclear se considera renovable	NO
6.21	Las centrales hidroeléctricas, a pesar de poder funcionar como centrales de base, suelen funcionar como centrales de pico, por ser mayor la retribución lograda en el mercado eléctrico	SI
6.22	En España la generación eléctrica con motores y con turbinas de gas es de pico	SI
6.23	El concepto de potencia pico de las placas fotovoltaicas nada tiene que ver con las centrales generadoras de electricidad denominadas de pico	SI
6.24	Si hay biomasa disponible, una central eléctrica de biomasa es gestionable	SI
6.25	El paradigma de generación-red de transporte-consumo heredado en España es el de la generación centralizada	SI
6.26	En España se dispone de una gran capacidad de almacenamiento eléctrico como para soportar una gran penetración de las renovables en la red eléctrica	NO

6.9.- Actividades propuestas.

Actividad propuesta 6.1: Por información en Internet examine las más recientes disposiciones del gobierno central español en materia de política energética sobre las ayudas a las renovables, en particular acerca del régimen especial de producción de electricidad (renovables y residuos) y específicamente acerca de las retribuciones a la electricidad renovable, primas, tarifas y mercado eléctrico. Cite las fuentes de información.

Solución: La reciente crisis ha inducido cambios normativos aún no estables, p. e. a 02/02/2014, [Decreto de autoconsumo 2015](#), [Nueva retribución](#), [Cambios en las subastas](#), [Noticia](#), [Seguridad jurídica](#).

Véase la **Actividad Propuesta 1.3** respecto a la producción de electricidad en el antiguo régimen especial.

La producción de calor o frío renovable no está primada (aeroterminia, geotermia). Eventualmente existen programas de incentivos en forma de ayudas a instalaciones innovadoras, condiciones financieras favorables (garantía, intereses, etc.) y exenciones de impuestos por inversiones en instalaciones de energías renovables. Incluso exención del informe de impacto medioambiental. La adquisición de vehículos eléctricos está subvencionada actualmente y favorecida su circulación y aparcamiento en grandes urbes. Al emplear electricidad, en parte renovable, esto se tiene en cuenta además de reducir la contaminación urbana.

La instalación de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria es actualmente obligatoria en España en nuevos edificios y rehabilitaciones mayores, por lo que ha dejado de estar subvencionada. Su producción no está primada ni controlada, ni es obligatorio su funcionamiento, aunque sí un plan de mantenimiento. En empresas, sí está subvencionada en algunas Comunidades Autónomas.

6.9.- Actividades propuestas (cont.).

Actividad propuesta 6.2: En España es actualmente obligatoria la instalación de calentamiento renovable del agua caliente sanitaria (ACS) en ciertos edificios. Por información en Internet resume acerca del porcentaje mínimo de suministro en estas instalaciones que determine el dimensionado de las mismas.

Solución: En algunas páginas web puede encontrarse la parte del [Código Técnico de la Edificación](#) HE 4 (REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo), donde se especifica la contribución mínima la demanda teórica que ha de proporcionar por cálculo el sistema solar de calentamiento para las 5 distintas **zonas climáticas** de la geografía española. La contribución mínima va desde un 30% a un 70%. Es creciente con la magnitud de la demanda de ACS y con la zona climática. Ha de ser mayor si el sistema de calentamiento principal es por efecto Joule. Especifica asimismo la contribución mínima de calentamiento del agua de piscinas cubiertas. Exige un plan de vigilancia y mantenimiento. [Fuente](#), accedido el 1/12/2019.