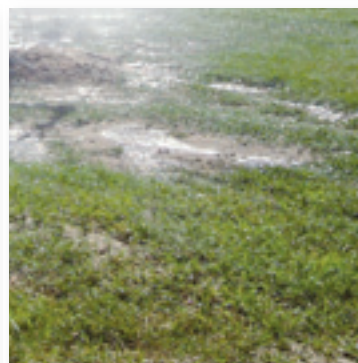


Energía y agua

Miquel Salgot
de Marçay

Energía y medio
ambiente

28

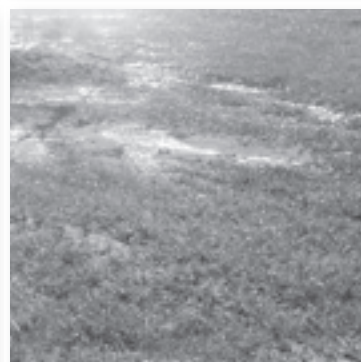


Energía y agua

Miquel Salgot
de Marçay

Energía y medio
ambiente

28



Guías técnicas de energía y medio ambiente

28. Energía y agua

Autor

Miquel Salgot de Marçay

Con la colaboración de

Sonia López Barrachina

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización por escrito de la Fundación Gas Natural Fenosa.

Edita

Fundación Gas Natural Fenosa

Plaça del Gas, 8

08201 Sabadell (Barcelona)

www.fundaciongasnaturalfenosa.org

1ª edición, 2017

ISBN: 978-84-617-9044-9

Depósito legal: B-5767-2017

Impreso en España

Índice

Prólogo	5
Introducción	7
1. El agua en el sistema energético	13
1.1. El sistema energético.....	13
1.2. El agua en la extracción y captación de recursos energéticos.....	15
1.2.1. El agua en la extracción de combustibles fósiles	15
1.2.2. El caso específico de las tecnologías de fractura hidráulica para la extracción de petróleo y gas natural “no convencionales”	19
1.3. El agua en la transformación de la energía (I): la generación de electricidad y de calor	26
1.3.1. El agua como materia prima	26
1.3.1.1. La energía hidroeléctrica.....	26
1.3.1.2. La energía geotérmica	30
1.3.1.3. El agua en la captación de recursos energéticos del mar	32
1.3.2. El agua como componente de proceso	35
1.3.2.1. Centrales térmicas	36
1.3.2.2. Centrales de carbón.....	38
1.3.2.3. Centrales de gas natural.....	38
1.3.2.4. Biomasa.....	39
1.3.2.5. Energía desde las depuradoras de aguas residuales	40
1.3.2.6. La energía solar	40
1.3.3. El agua como componente de refrigeración	43
1.3.3.1. El agua como componente de refrigeración en centrales térmicas	43
1.3.3.2. Centrales nucleares	46
1.4. El agua en la transformación de la energía (II): la elaboración de combustibles.....	48
1.4.1. El agua en las refinerías de petróleo.....	48
1.4.2. El agua en la transformación del gas natural.....	50
1.4.3. Producción de hidrógeno.....	53
1.4.4. El agua en la producción de biocarburantes.....	53
1.5. El agua en el almacenamiento de la energía.....	59
1.5.1. Los embalses reversibles	61
1.5.2. El agua como almacén de calor	64
1.6. El agua en el transporte y distribución de la energía	65
1.7. Conclusiones	66
2. El papel de la energía en el ciclo del agua	69
2.1. Captación	76
2.1.1. La energía para la extracción del agua	76
2.1.2. La energía para perforar: pozos o galerías.....	77
2.1.3. La energía para captar el agua	78
2.2. Tratamientos	84

2.3. Potabilización	86
2.3.1. Procesos de potabilización	86
2.3.2. Tratamientos para la industria.....	87
2.4. Distribución al usuario.....	88
2.4.1. Distribución urbana.....	88
2.4.2. Distribución industrial.....	90
2.4.3. Almacenaje y distribución en agricultura.....	90
2.5. Consumo final del agua.....	91
2.5.1. Uso agrario y ganadero	91
2.5.1.1. Riegos convencionales.....	93
2.5.1.2. Riegos a presión	94
2.5.2. Uso industrial.....	94
2.5.3. Uso doméstico y en edificios.....	95
2.6. Alcantarillado	96
2.7. Depuración	96
2.8. Regeneración/reutilización	101
2.8.1. Regeneración	101
2.8.2. Reutilización.....	102
2.9. Vertido final	103
2.10. Gestión energética a escala doméstica.....	104
3. Casos prácticos.....	105
Caso 1: La gestión del agua en las centrales de ciclo combinado	105
Caso 2: Embalses hidráulicos reversibles	110
Caso 3: La eficiencia energética y el aprovechamiento de biogás en los procesos de depuración de aguas residuales	114
Caso 4: Centrales hidroeléctricas ecológicas	119
Caso 5: Red de distrito en Olot, Girona (España)	123
Caso 6: Estación regeneradora de agua del Camp de Tarragona (España)	126
Caso 7: Agua regenerada para fabricación de papel prensa reciclado	129
Caso 8: Eficiencia energética en actividades agrarias de regadío	132
Caso 9: Energía y agua consumida para fabricación de cerveza	135
Bibliografía	141
Glosario	143

Prólogo

La energía depende cada vez más del agua. Necesitamos el agua como materia prima y componente de proceso en las distintas etapas del ciclo de la energía. El agua es un elemento básico en el funcionamiento de las centrales eléctricas térmicas, ya sean de carbón, fuelóleo o gas natural. Usamos el agua para extraer, transportar y transformar los combustibles fósiles, para regar las plantas de las que obtenemos biocombustibles, para refrigerar las centrales nucleares, o para fabricar el silicio de las placas solares fotovoltaicas. Por esta razón, la creciente escasez de agua tiene un impacto cada día mayor en la fiabilidad y en el coste de muchos recursos energéticos.

Algo parecido ocurre en sentido contrario. La energía ejerce un papel decisivo en el ciclo integral del agua. La disponibilidad, la calidad y el coste de la energía son cada vez más importantes para los gestores de los sistemas hídricos, desde la captación del agua hasta su distribución final, pasando por los sistemas de potabilización, depuración, desalación o reutilización del agua. Tanto es así que, en ocasiones, los avances alcanzados en el ahorro de agua se logran a costa de un aumento muy significativo del consumo energético, como ha ocurrido en algunos sistemas agrarios.

No estamos hablando de procesos marginales, sino de aspectos significativos. Se estima que un 15% del agua dedicada a usos humanos en el mundo (lo que denominamos *abastecimiento*) se destina a la producción de energía: unos 583.000 millones de metros cúbicos de agua al año. Más de un 10% de esta agua (66.000 millones de metros cúbicos) se “consume”, es decir que no se reincorpora al ciclo del agua y “se pierde” para el sistema.

Las perspectivas de futuro son preocupantes. En el período 2010-2035, se prevé un aumento de un 20% del agua dedicada al “abastecimiento” para usos energéticos. El “consumo” energético se prevé que aumente un 85% durante este período. Este panorama es especialmente preocupante en un mundo con crecientes síntomas de escasez de agua.

A pesar de ello, todavía son pocos los análisis y planteamientos integrados de la gestión de la energía y del agua en las actividades humanas. De ahí la elaboración de este libro, encargado por la Fundación Gas Natural Fenosa al profesor Miquel Salgot de Marçay, de la Univer-

sidad de Barcelona. Se trata de describir con detalle los principales aspectos de la gestión de la energía en los que la intervención del agua es decisiva y, al revés, conocer los principales puntos en la gestión de un sistema hídrico en los que la energía desempeña un papel importante. Todo ello con el objetivo de poder mejorar la gestión cruzada de ambos parámetros.

El libro presenta, por otra parte, numerosos ejemplos prácticos de esta interrelación entre la gestión de la energía y la gestión del agua. Unos casos prácticos, todos ellos, basados en experiencias acumuladas en España, que nos permiten visualizar la importancia de esta nueva gestión integrada.

Quiero agradecer desde aquí todo el esfuerzo realizado por el doctor Salgot, ayudado por Sonia López Barrachina, en la elaboración de esta obra y en la participación en seminarios de la Fundación sobre este tema en toda España. Quiero agradecer también a todos los miembros de la Comisión de Seguimiento su magnífica labor de revisión y mejora del libro: Francisco Velasco Heredero, Francisco Javier Alonso Martínez, David de la Fuente García, Celia González Tellez, María Piedad Martínez Gonzalo, Julio Matesanz Muñoz, Pedro Ortega Prieto y David Alejandro Pérez Rodríguez. Agradezco también muy especialmente a todos quienes elaboraron casos prácticos, presentados en los seminarios y recogidos en el tercer capítulo del presente libro: Ángel Gonzalo Martín, de Gas Natural Fenosa, en el caso práctico de la red de distrito en Olot; Juan Antonio López Abadía y Patricio Valverde de Estrella de Levante, Grupo Damm; José María Regidor y Esther Yuste para el caso práctico de Holmen; Joan Sanz, de Veolia, para el caso práctico de Aitasa, y Enrique Playán para el caso de la eficiencia energética en el riego.

A todos muchas gracias.

Martí Solà

Director General

Fundación Gas Natural Fenosa

www.fundaciongasnaturalfenosa.org

Introducción

La Tierra es un ecosistema que tiende a un equilibrio dinámico, con mecanismos de regulación basados en buena medida en la relación entre el agua y la energía. Nuestro planeta recibe continuamente nuevas aportaciones de energía (figura 1) que influyen en su temperatura. Esta radiación solar no incide de forma homogénea en la superficie terrestre: se recibe mayor cantidad de energía en el ecuador y menor en los polos, más de día y menos de noche. Estas diferencias de temperatura se equilibran mediante la acción de los vientos y los cambios de fase del agua, que pasa del hielo a líquido y de este a vapor. Las variaciones climáticas dependen de estas diferencias y de la tendencia a que la temperatura sea homogénea en toda la superficie terrestre.

Entre la energía y el agua existe, por tanto, una interrelación evidente que tiene consecuencias en toda la Tierra. El hombre ha ido modificando esta relación desde hace miles de años.

Los ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos estudian los movimientos de los elementos en y entre los seres vivos y el ambiente (atmósfera, biomasa terrestre y agua) con una serie de procesos de producción y descomposición de materia orgánica y compuestos químicos. Los ciclos son básicos para la vida en la Tierra, ya que el reciclaje permite que los nutrientes sigan manteniendo su disponibilidad.

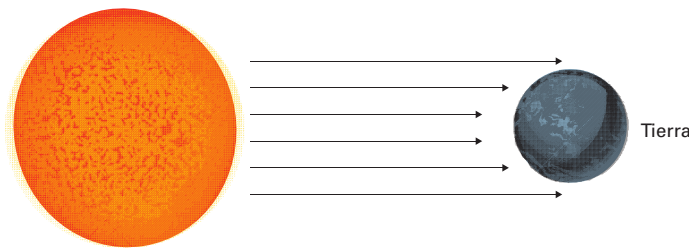


Figura 1. Calentamiento diferencial de la superficie de la Tierra.
Fuente: elaboración propia (2016).

En estos ciclos, el flujo de la energía es abierto: la energía se degrada al ser utilizada en los diversos niveles tróficos. Por otro lado, el flujo de la materia es cerrado aunque con tiempos de reciclaje muy variados.

En el ciclo biogeoquímico del agua, esta circula entre los distintos elementos y compuestos químicos y de organismos. El agua es el hábitat natural de muchos de estos últimos y de una parte de la energía del planeta. Esta actividad se ve facilitada por las distintas fases del agua: sólida, líquida y gaseosa, y por sus transformaciones. La cantidad de energía involucrada en el ciclo del agua es muy importante y contribuye a la regulación térmica de la Tierra.

Estos ciclos biogeoquímicos requieren energía y un medio que les facilite el desplazamiento de elementos y materiales. De forma natural, la energía deriva de la aportación del Sol, debido a la desigualdad de la insolación en el globo terrestre (figura 2). Esta desigualdad en los *inputs* de energía se traduce en temperaturas diferentes en los distintos puntos del globo. La necesidad física de igualar las temperaturas en masas de aire contiguas da origen a los vientos. Al mismo tiempo, la energía solar es el origen de la evaporación del agua. Los regímenes de vientos, la evaporación del agua y los ríos y acuíferos son la base de la redistribución de agua y energía en el globo.

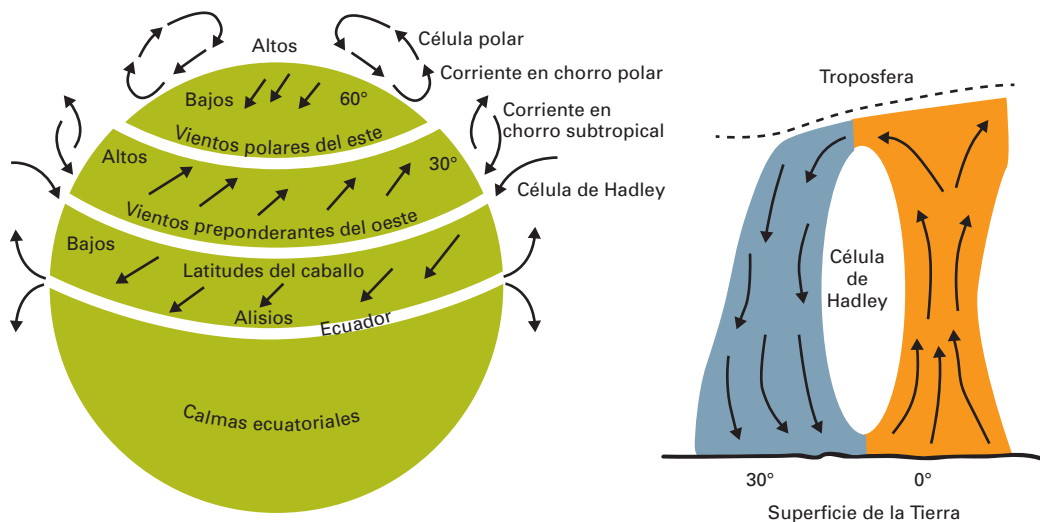


Figura 2. Diagrama global de vientos.
Fuente: elaboración propia (2016).

Ciclo natural	Ciclo antrópico
Precipitación Escorrentía/infiltración Aguas superficiales Aguas subterráneas Agua de mar Evaporación/transpiración	Captación Transporte/tratamiento Distribución Uso Recolección de efluentes Depuración Reutilización Vertido

Tabla 1. Ciclo natural y antrópico del agua.
Fuente: elaboración propia.

La actividad humana en relación con los ciclos biogeoquímicos

La velocidad de los ciclos biogeoquímicos se alteró por el empleo de los diversos materiales y elementos (entre ellos agua y energía) al desarrollarse la actividad humana. Tal alteración sufrió una aceleración considerable en los dos últimos siglos con la Revolución industrial. Esta se vio facilitada por la fuerza de los molinos de agua y el transporte de materiales por los canales y ríos relativamente próximos al mar y por lo general navegables (Guerrero y Schifter, 2011).

Hay otros actores que intervienen en estos procesos, como el denominado efecto invernadero (natural en parte) o la presencia de vegetación y masas de agua libre. El clima en las diferentes partes de la Tierra es una consecuencia del calentamiento diferencial de la superficie y de los procesos físicos de homogeneización de la temperatura. Esto deriva en la presencia de vientos constantes y temporales, en los regímenes de precipitaciones y en la evapotranspiración (tabla 1).

Un tratamiento separado

A pesar de la estrecha relación que acabamos de ver, el agua y la energía apenas han sido objeto de estudio o análisis conjunto. Solo se han abordado juntas en el terreno de la producción directa de energía a partir del agua o del transporte y producción de agua usando energía. Aun así, la aproximación ha sido parcial.

En la actualidad, los estudios conjuntos son cada vez más frecuentes. La escasez del agua y el coste de la energía han contribuido a ello. En el momento en que el aumento de la oferta de suministro de agua dejó de depender de la fuerza de la gravedad o del viento y pasó a depender del aporte de energía externa por combustión –a partir de la Revolución industrial–, la relación entre agua y energía se hizo más intensa. De hecho, la evolución de las nuevas tecnologías de la era industrial se inició con la generación de vapor.

Durante milenios se ha producido energía empleando directamente agua, al aprovechar la energía cinética mediante molinos de agua. Se puede extraer o elevar agua con molinos de viento o mediante la energía cinética de la misma agua a través de norias. El agua está presente en casi todas las formas de generación de energía: desde la más elemental, la combustión de la madera (al producir vapor, como materia prima para el desarrollo del vegetal), hasta las modernas formas de generación eléctrica en centrales nucleares, en las que se convierte no tan solo en el vapor que impulsa las turbinas sino que también funciona como el elemento moderador y de absorción de la radiación en la piscina del reactor (al reducir la velocidad de las partículas y actuar de filtro, de forma similar al plomo) (Guerrero y Schifter, 2011).

La energía y el agua están unidas por las leyes naturales y la geografía. Las políticas del agua y la energía deberían tener en cuenta las relaciones físicas y espaciales del nexo entre ambas. Hay que considerar que las políticas y tecnologías que se enfocan demasiado en un recurso pueden tener advertida o inadvertidamente efectos negativos en el otro. Por ejemplo, los recursos alternativos de agua dulce incrementan la disponibilidad a escala local, pero con el resultado de un consumo adicional de energía en la región. De la misma forma, el uso intensivo de agua en la cadena de suministro de energía permite obtener un suministro fiable de energía y combustibles para el transporte, pero a menudo reduce la cantidad y degrada la calidad del agua (King *et al.*, 2010).

Por tanto, ahorrar agua significa también ahorrar la energía necesaria para su producción y viceversa. Sin duda, algunas nuevas alternativas energéticas pueden permitir que sean viables determinadas soluciones a la escasez de agua. Aun en países donde el petróleo es abundante y barato, la percepción del nexo agua-energía puede conducir a alternativas ambientalmente más sostenibles (Maestu y Gómez, 2014).

Mientras al agua se la suele relacionar con la salud, a la energía se la relaciona con una vida “decente” (Olsson, 2012). La calidad y cantidad de agua permiten que se pueda garantizar la seguridad sanitaria del agua (*water safety*). Para ello suele ser necesaria una cantidad apreciable de energía. Por otra parte, la energía permite una calidad de vida apreciable (decente), ya

sea para la climatización o para la obtención de materias primas, el agua potable, el saneamiento y la alimentación.

El acceso al agua se considera actualmente un derecho del ser humano, y la disponibilidad de energía está alcanzando en los primeros decenios del siglo XXI la misma categoría. Esto es así, hasta el punto de que, en las sociedades desarrolladas, se está definiendo la denominada *pobreza energética* y la *pobreza de agua*, mientras que la escasez de agua y energía sigue siendo una constante habitual en las sociedades en vías de desarrollo.

Manual práctico

El libro que tiene en sus manos es un manual práctico que describe y evalúa las principales conexiones que existen entre la energía y el agua: el nexo energía-agua.

El primer capítulo está dedicado al papel del agua en las diferentes fases del ciclo de la energía: extracción, transformación, transporte, generación eléctrica y almacenamiento. En cada caso, se identifican y explican las principales tecnologías en las que participa el agua y se evalúa su importancia y resultados.

En el sistema energético el agua ejerce un papel primordial, ya sea como acompañante o impulsor de los recursos energéticos (gas y petróleo), como materia prima en la generación de electricidad y calor (componente del proceso) o como componente de la refrigeración; por tanto, es imprescindible en la transformación de productos energéticos en electricidad. También es básica en la transformación de energía y en su almacenaje.

El segundo capítulo hace lo propio en sentido inverso: el papel de la energía en las diferentes etapas del ciclo antrópico del agua: extracción, transporte, distribución, potabilización, depuración y consumo final. También aquí se identifican y explican las principales tecnologías en las que la energía desempeña un papel destacado y se evalúan su importancia y resultados.

En los sistemas del ciclo antrópico del agua, la energía tiene una influencia muy importante, para captar agua del medio y tratarla hasta alcanzar unos estándares adecuados. La energía permite el transporte y uso del agua (redes de abastecimiento y saneamiento en ciudades, riego, etc.). Una vez usada el agua, la energía vuelve a tener su papel para poder proceder al

transporte del agua residual hasta las instalaciones, donde mediante el uso de energía en mayor o menor cantidad, se mejora su calidad para poder devolverla al medio.

Y por último, a modo de ejemplos ilustrativos, se detallan diferentes casos en los que interviene el binomio agua-energía. Se revisa el nexo del agua con la energía y viceversa en centrales de ciclo combinado, el almacenaje de energía mediante embalses reversibles, la producción de biogás a partir del agua residual, la aproximación ecológica a las centrales hidroeléctricas, las redes energéticas de distrito, la regeneración de agua residual para industria, el reciclado y reutilización para fabricación de papel prensa, la eficiencia energética en actividades de riego y el consumo de agua y energía para fabricación de cerveza.

1.

El agua en el sistema energético

1.1. El sistema energético

La captación, transformación y consumo de la energía por parte de los seres humanos se ha desarrollado hasta convertirse en un sistema. Un sistema es un todo orgánico cuyas partes están coordinadas según una ley y contribuyen a un determinado objetivo. Este objetivo o fin último es la consecución de servicios energéticos útiles para la sociedad. Para lograrlo, el sistema permite convertir la energía primaria en energía “útil”. En este sentido, el sistema energético está compuesto por una serie de productos, procesos y servicios (figura 1.1).

En los sistemas energéticos se observan tres tipos distintos de productos: las fuentes de energía *primaria*, la energía *intermedia* y la energía *final*. Desde el origen hasta su conversión en energía utilizable estos productos experimentan importantes cambios.

Por ejemplo, el carbón que se extrae de una mina no resuelve directamente la necesidad de hacer funcionar un ordenador. Para ello se debe convertir este carbón (energía primaria) en electricidad de alta tensión (energía intermedia) y transformar luego esta última en electricidad de baja tensión (energía final) que se pueda utilizar en las casas u oficinas. En una parte de esta transformación, el agua desempeña un papel importante.

Los procesos que intervienen en el sistema energético son de cinco tipos: extracción (o captación), transformación, almacenamiento, transporte/distribución y uso/consumo. El agua participa activamente en cada uno de ellos. La mayor parte de procesos requiere estudios previos para poder ser aplicados y en algunos casos (por ejemplo, la energía solar de autoconsumo) no se emplean los cinco.

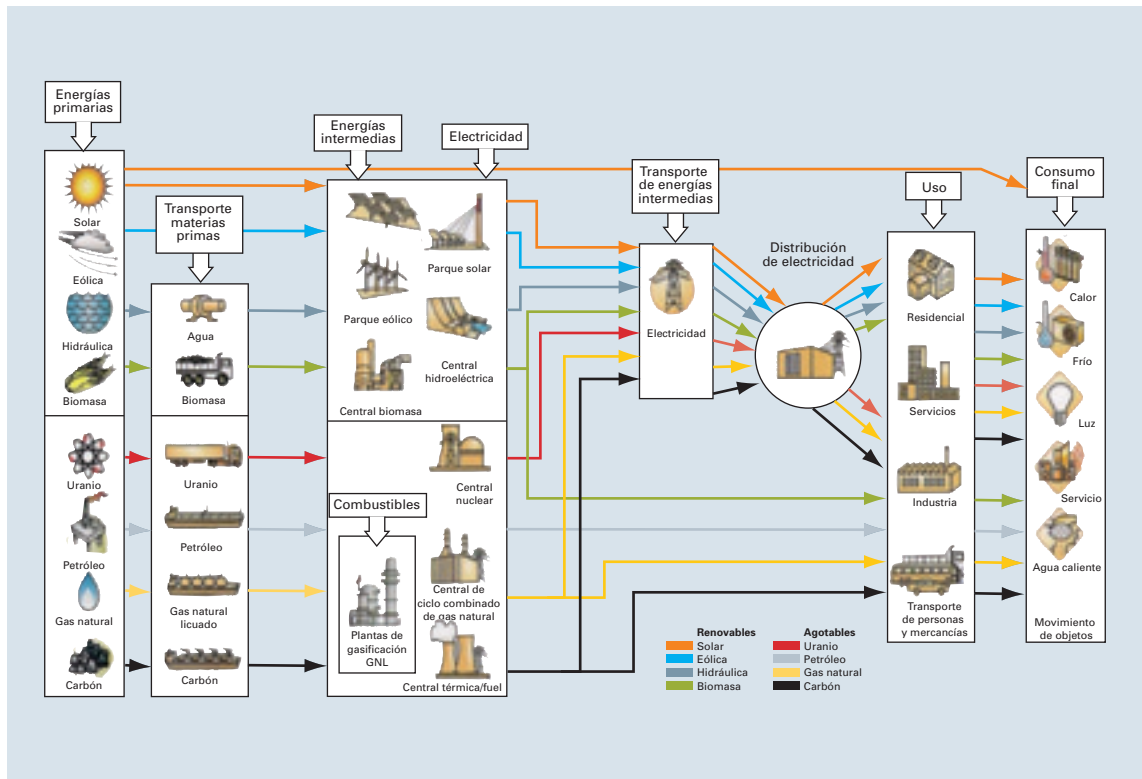


Figura 1.1. Gráfico del sistema energético.
Fuente: elaboración propia (2009).

No se debe olvidar la creciente importancia de las instalaciones de autoconsumo, como las placas solares, pequeños molinos de viento, etc.; en las que la transformación de energía en electricidad puede no ser necesaria.

El objetivo esencial del sistema energético es proveer a la sociedad de servicios energéticos útiles empleando casi siempre la “energía final” y ocasionalmente usando directamente fuentes de energía, como las máquinas que funcionan directamente con gas. Estos servicios son –entre otros– el calor, el frío, la tracción mecánica, la iluminación, el funcionamiento de los aparatos eléctricos y algunos procesos de manufactura. El agua hace posible muchos de estos servicios mediante las máquinas o “aplicaciones” que usa el consumidor final (véase tabla 1.1), en este caso urbano.

Calor/frío	Acondicionamiento de aire, frigoríficos, calor industrial, etc.
Aparatos domésticos y en negocios	Higiene personal (cepillos de dientes, afeitadoras, depiladoras, etc.), aparatos de cocina (hornos eléctricos, placas de inducción, molinillos, neveras, lavaplatos, aspiradoras, juguetes, televisión, etc.)
Iluminación	Urbana, interurbana, doméstica, industrial, etc.
Tracción mecánica	Ferrocarriles urbanos, tranvías, trolebuses, equipos de limpieza urbana, aviones, etc.
Manufactura	Instalaciones conectadas a la red: pequeñas instalaciones urbanas (talleres de varios tipos, etc.), estaciones de servicio, túneles de lavado, etc.
Servicios urbanos	Maquinaria de limpieza urbana, riego de parques y jardines, gestión de alcantarillado, fuentes de bebida y ornamentales, etc.
Gas	Aparatos de cocina, calefacción, generación de vapor y para diferentes industrias

Tabla 1.1. Servicios energéticos domésticos/urbanos que emplean usualmente energía final.

Fuente: elaboración propia.

1.2. El agua en la extracción y captación de recursos energéticos

En numerosas actividades de captación de recursos energéticos hay una relación con el agua, ya sea porque esta se asocia físicamente al recurso (por ejemplo en las minas de carbón) o porque el agua es necesaria en el proceso para que la energía sea aprovechable (es el caso de las turbinas).

1.2.1. El agua en la extracción de combustibles fósiles

En la extracción de combustibles fósiles, carbón e hidrocarburos, el agua puede ser un coadyuvante, un subproducto o ambas cosas a la vez.

En el primer caso (coadyuvante de la explotación), el agua se emplea para mejorar la extracción de hidrocarburos, lo que incrementa la productividad de los pozos al aumentar la presión dentro del yacimiento. En el caso de la explotación de hidrocarburos no convencionales, el agua es el componente básico en la tecnología de fracturación hidráulica (o *fracking*) que hace posible la extracción de los recursos (véase apartado 1.2.2). En determinadas explo-

taciones de carbón, el agua se emplea para transportar el mineral. En estas, el carbón se somete a un proceso de molienda y se suspende en agua para facilitar el transporte.

En las minas de carbón es importante controlar y tratar el agua de lixiviación; es decir, el agua que después de recorrer las acumulaciones de mineral y los derrubios, sale de la zona de la mina y fluye hacia los ríos o a los acuíferos. Esta agua contiene habitualmente materiales tóxicos y contaminantes, como metales pesados.

Los casos más importantes de subproductos de explotación se refieren al agua que acompaña de forma natural al gas o petróleo en las formaciones geológicas, o bien se trata de agua de acuíferos que drenan en las minas de carbón al ser interceptados por la explotación. El agua debe separarse del producto final, lo que es relativamente simple tecnológicamente. En el caso de los acuíferos es necesaria una importante cantidad de energía para gestionar el exceso de agua y se deben tener en cuenta las afecciones en los acuíferos y los ríos. Al interceptar los acuíferos, la parte de explotación debajo del punto de intercepción se llenaría si esta no se extrajese. Si el acuífero se intercepta en su parte más baja, se pueden inundar incluso niveles superiores.

El agua generada como subproducto debe tratarse antes de poder ser vertida o devuelta al medio natural, aunque a veces puede reinyectarse a la misma explotación.

De este modo, cualquier obra civil que perturbe el estado geomorfológico del medio influirá irremisiblemente sobre la calidad química de las aguas subterráneas. Los clásicos desmontes practicados en carreteras o en minería a cielo abierto ponen en contacto zonas geológicas, que antes estaban cubiertas, con el aire, el vapor de agua y la escorrentía superficial (figura 1.2). En el caso de la minería de carbón a cielo abierto, las aguas que lixivian los taludes puestos al descubierto se acidifican y oxidan debido al contenido de sulfuros del mineral y a las nuevas condiciones oxidantes que aparecen. La manera de evitar la acidificación es la concentración del agua en canales de drenaje y posterior tratamiento, o bien impermeabilizar la zona expuesta al descubierto mediante el recubrimiento con arcillas que aislarían el mineral.

Desde el punto de vista hidrogeológico si el acuífero se encuentra a menor cota que la explotación minera, las aguas de acumulación en el fondo se podrían infiltrar, lo que al portar la carga ácida contaminaría las aguas del acuífero.

Si el acuífero es interceptado por la actividad extractiva, se facilita la descarga de agua hacia el hoyo generado. Generalmente, para evitar la descarga del acuífero sobre el hueco minero

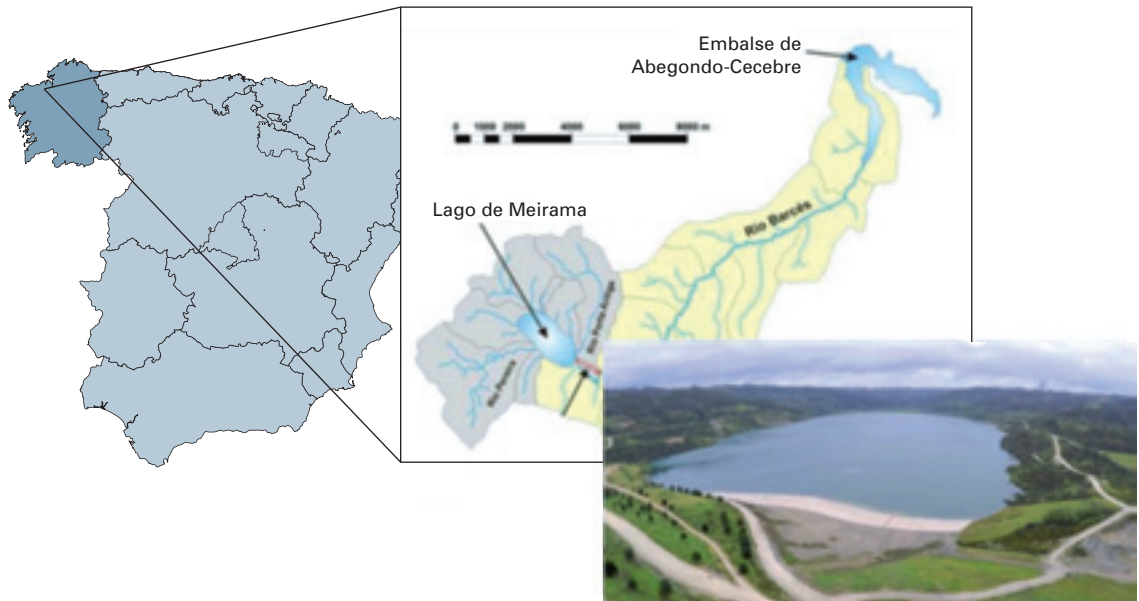


Figura 1.2. Agua en las explotaciones mineras.
Fuente: Gas Natural Fenosa (consultado en 2016).

se suelen perforar pozos alrededor de la explotación para deprimir el nivel freático y evitar así la contaminación del agua de descarga del acuífero sobre el hueco minero. Esta agua bombeada se reconduce a través de un canal perimetral a la explotación y se dirige hacia el sistema hídrico del entorno, como se ha indicado.

Otra técnica se basa en la inundación de la corta minera con aguas fluviales como método rehabilitador del entorno; esto evita que los taludes queden al descubierto y, en consecuencia, se oxiden. Por otra parte, el agua almacenada diluye los posibles lixiviados y posibilita la oportunidad de utilizar la laguna generada como embalse.

En el caso de minería subterránea, el entorno hidrogeológico es vulnerable, ya que es posible que las galerías y túneles corten un acuífero (poroso o fracturado) que se verá afectado cuando se drene agua hacia dichas galerías. El drenaje de esta agua hacia el exterior de la mina y su posterior tratamiento son la única solución.

Las posibles medidas para evitar el deterioro de los acuíferos en relación con las perforaciones mineras son:

- Estudios edáficos y geológico-geotécnicos que permitan conocer la localización de los distintos acuíferos y la estructura del suelo y subsuelo.
- Una ejecución correcta de la obra: la calidad del trabajo de cementación y sellado es un factor crítico para garantizar la integridad del pozo o galería, y prevenir el deterioro de los recursos hídricos subterráneos.
- Un revestimiento que proporciona el aislamiento necesario de los acuíferos y constituye su primera línea de defensa; para reducir el riesgo se llegan a realizar hasta cuatro revestimientos concéntricos –que consiguen aislarlo de las formaciones adyacentes– con el objetivo de sellar el pozo y estabilizarlo una vez completado y en proceso de producción.
- Un adecuado mantenimiento de la integridad del pozo o galería y de las instalaciones de superficie.
- Un programa de vigilancia que garantice el seguimiento de la integridad del pozo. Es indispensable comprobar periódicamente el funcionamiento y la cementación del pozo o galería, garantizando que se mantiene la impermeabilidad durante su vida útil.

Otra posible fuente de contaminación de los acuíferos superficiales y aguas de escorrentía es la originada por vertidos en superficie de productos químicos o residuos. Las barreras utilizadas para evitar la afección son diversas: bandejas de recogida de aceites bajo los equipos, impermeabilización de la zona de trabajo mediante membranas de polietileno o soleras de hormigón, almacenamiento adecuado de productos químicos y residuos, y utilización de tanques de doble pared, entre otras. Por supuesto, todas las aguas procedentes del área de trabajo deben ser recogidas y tratadas convenientemente, antes de ser vertidas.

1.2.2. El caso específico de las tecnologías de fractura hidráulica para la extracción de petróleo y gas natural “no convencionales”

El gas de esquisto es una forma de gas no convencional que se encuentra atrapado en el interior de formaciones poco permeables; sucede de forma similar con el petróleo. Este gas no puede ser extraído mediante técnicas tradicionales, sino a través de un proceso tecnológico de perforación horizontal y fractura hidráulica, como se detalla más adelante. En la figura 1.3 puede verse la diferencia entre la explotación de gas en una explotación “clásica” (pozo de la izquierda) y la de gas de esquisto en la formación geológica correspondiente (pozo de la derecha).

El desarrollo de la tecnología de producción del gas o petróleo de esquisto ha provocado la conocida como *revolución del petróleo no convencional*, que ha cambiado en Estados Unidos la escasez de petróleo y gas por un superávit potencial, y está transformando el panorama mundial de la energía. Estados Unidos ha variado su papel al pasar de ser importador de gas a exportador; del mismo modo ha reducido drásticamente las importaciones de petróleo en los últimos años al aumentar las producciones diarias en unos cuatro millones de barriles

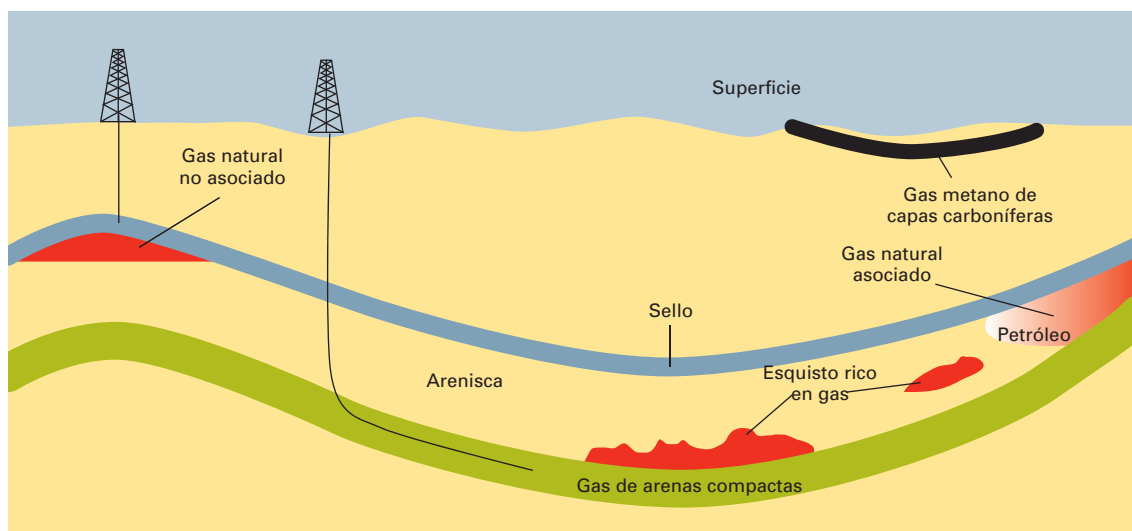


Figura 1.3. Esquema de los yacimientos convencionales y no convencionales de gas.
Fuente: EIA (Energy Information Administration, USA) (consultado en 2016).

(en la figura 1.4 se observan las principales cuencas productoras de gas de esquisto en Estados Unidos y en la figura 1.5 la evolución de la producción de gas de esquisto en el mismo país). Otro efecto de esta “revolución” ha sido una acusada bajada en el precio del petróleo. Desde el año 2015, la bajada de los precios del petróleo ha modificado las circunstancias de la explotación del gas y petróleo no convencionales, hasta el punto que determinadas explotaciones por *fracking* han debido cerrarse, lo que ha frenado la perforación de nuevos pozos y por tanto la capacidad de incrementar la producción.



Fuente: Administración de Información sobre Energía (EIA) basado en datos de varios estudios publicados. Actualizado el 8 de mayo de 2011.

Figura 1.4. Cuencas de esquisto en Estados Unidos.

Fuente: EIA (2016).

1. El agua en el sistema energético

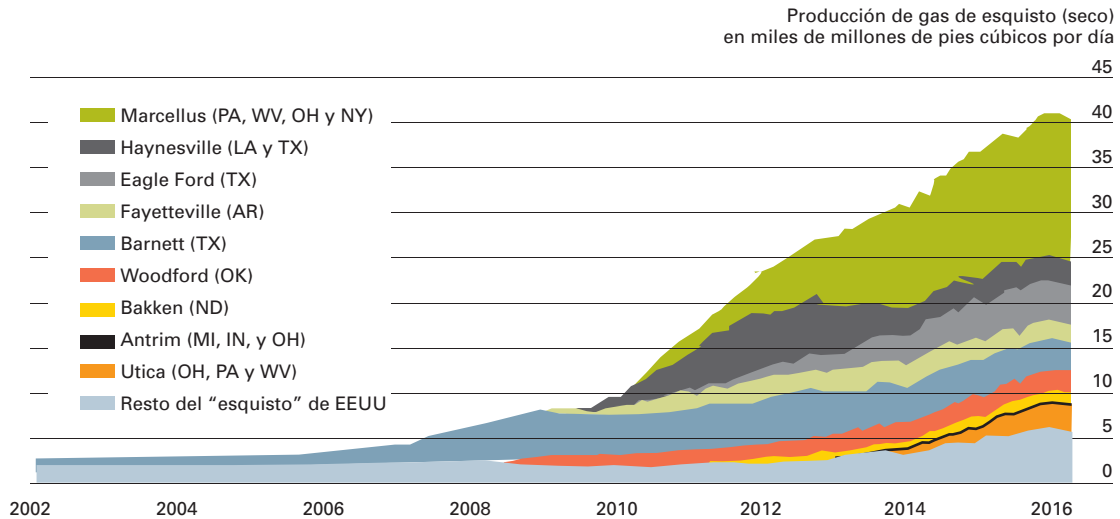


Figura 1.5. Evolución de la producción de explotaciones de gas de esquisto en Estados Unidos.

Fuente: EIA (2016), a partir de datos administrativos recopilados por DrillingInfo Inc. Los datos son de abril de 2016 y representan los cálculos oficiales de la EIA de gas de esquisto, pero no son datos de estudios.

Las abreviaciones indican los Estados principales.

En Europa aún no hay consenso sobre esta tecnología. Si bien se considera que la oportunidad de aprovechar yacimientos no convencionales de petróleo y gas es amplia, esta tecnología es objeto de un intenso y controvertido debate, fundamentalmente por razones ambientales y a menudo sin considerar fundamentos científicos.

Los nuevos recursos no convencionales se producen gracias al desarrollo de la perforación direccional y de la fracturación hidráulica. La fracturación hidráulica o *fracking* consiste en inyectar agua a alta presión con una cierta cantidad de aditivos y un agente de apuntalamiento, con el objetivo de fracturar las formaciones geológicas y liberar así el gas o el petróleo que de otra forma no sería accesible (figura 1.6).

En este sentido, el fluido utilizado en fracturación hidráulica es una mezcla formada por un 95% de agua, un 4,5% de arena (como agente de apuntalamiento, la función de la arena es consolidar las microfisuras creadas para evitar su cierre y maximizar así la extracción del gas) y un 0,5% de una mezcla de aditivos (se suelen usar entre cinco y diez aditivos distintos).

El procedimiento de fractura se realiza secuencialmente, siendo el volumen de agua utilizado en cada etapa de 1.000 a 2.000 m³. El consumo medio por pozo se sitúa en los 20.000 m³.

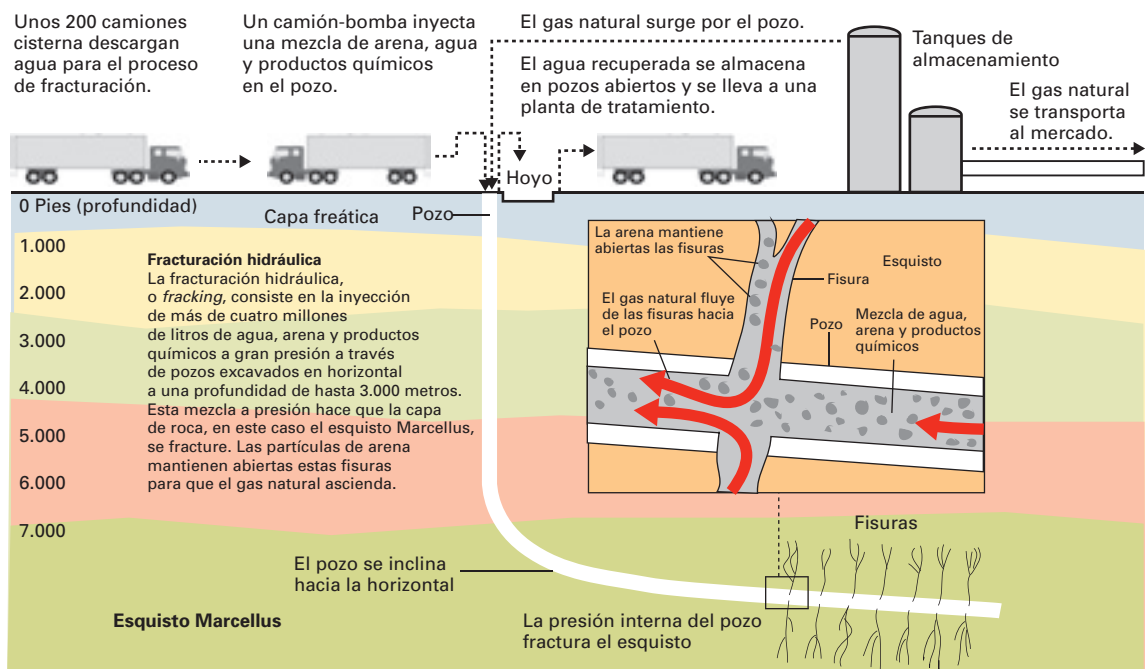


Figura 1.6. Esquema de fracturación hidráulica.

Fuente: EIA (consultado en 2016).

Dado el gran volumen de agua necesario, esta debe obtenerse en el lugar donde se realiza la explotación o, en su defecto, transportarse desde otros lugares. No obstante, aunque la cantidad de agua empleada por pozo parece *a priori* elevada, en realidad se requiere relativamente poca agua por unidad energética producida. La tabla 1.2 muestra el volumen medio de agua consumida en distintos procesos energéticos, para poder establecer una comparación.

La necesidad de agua durante la vida útil del pozo es por lo tanto más baja por unidad de energía producida que en el caso de la energía nuclear (figura 1.7).

En cualquier caso, el consumo de agua es uno de los aspectos ambientales significativos para este tipo de proyecto como es el *fracking*. La magnitud de los impactos ambientales asociados dependerá de las condiciones concretas de la zona, disponibilidad de agua, competencia con otros usos existentes o futuros, etc. Los estudios realizados en Estados Unidos muestran que, salvo en casos puntuales muy localizados, con una gestión adecuada del agua, la activi-

1. El agua en el sistema energético

Recurso/tecnología	Técnica	Volumen medio de agua (m ³ /Gj)
Explotación clásica de carbón	–	0,16
Explotación de gas	Clásica	0,11
	Gas de esquisto	0,10
Explotación de petróleo	*	1,06
Biomasa	**	70
Nuclear	–	0,89
Solar	***	0,27

* Difiere según la localización de la explotación y sus características.
 ** Valor medio en función del cultivo y las necesidades, muy variables.
 *** Se considera únicamente la solar térmica de baja temperatura.

Tabla 1.2. Volúmenes de agua en la extracción/transformación de recursos energéticos.
 Fuente: elaboración propia.

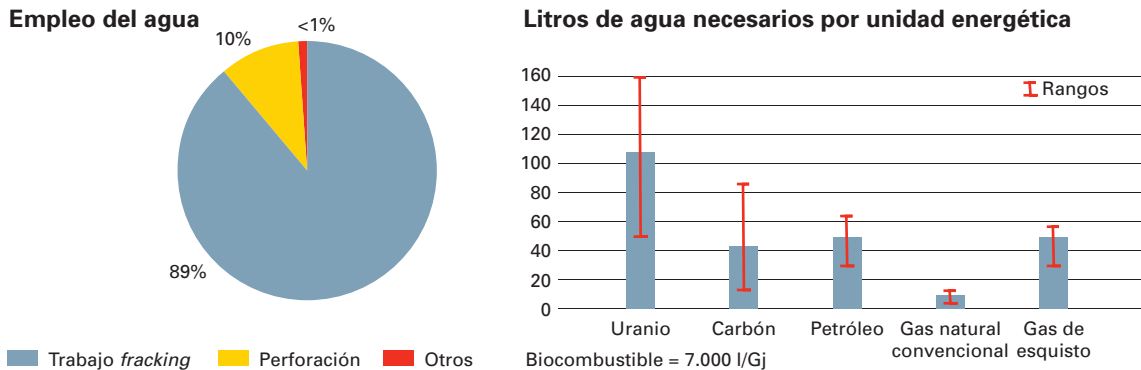


Figura 1.7. Agua utilizada para diferentes tipos de explotación.
 Fuente: Global Unconventional Gas (2010).

dad es totalmente sostenible. En la tabla 1.3 se muestran los usos de agua en cuatro de las principales cuencas productoras de gas, donde se comprueba que hay actividades económicas con un impacto mucho mayor sobre los recursos hídricos.

Las medidas que se utilizan para reducir el consumo de agua en el *fracking* son:

Lugar	Abastecimiento (%)	Industria/minería (%)	Riego (%)	Ganadería (%)	Petróleo/gas de esquisto (%)	Uso total del agua (109 barriles/día) (%)
Barnett (TX)	82,7	3,7	6,3	2,3	0,4	11,1
Fayetteville (AR)	2,3	33,3	62,9	0,3	0,1	31,9
Haynesville (LA/TX)	45,9	13,5	8,5	4,0	0,8	2,1
Marcellus (NY/PA/WV)	12,0	71,7	0,1	< 0,1	< 0,1	85,0

Tabla 1.3. Usos de agua en cuatro de las principales cuencas productoras de gas, Estados Unidos.

Fuente: elaboración propia.

- Realizar un estudio previo de disponibilidad, con el fin de seleccionar las fuentes apropiadas y asegurar que no se produce un impacto inasumible sobre el medio acuático ni sobre los usos existentes.
- Minimizar el consumo de agua mediante la reutilización del agua de retorno del *fracking*. Para ello es necesario tratarla con el objetivo de eliminar contaminantes y conseguir la calidad adecuada.
- Utilizar fuentes de agua alternativas al agua dulce, como aguas residuales regeneradas de poblaciones próximas, aguas de refrigeración procedentes de industrias o centrales eléctricas cercanas al proyecto, o aguas salobres (de mar, de acuíferos profundos o de otro origen). Evidentemente esta alternativa requiere un adecuado tratamiento de estas aguas.
- Utilizar fluidos alternativos al agua, como propano, butano, N₂ o CO₂.

Si bien las fracturas producidas en el proceso podrían ser causa de contaminación de los acuíferos por los productos químicos empleados, se ha comprobado que el riesgo de que suceda es insignificante. Esto es así debido a que la fracturación se realiza a elevadas profundidades, y los acuíferos de agua potable son mucho más superficiales. Por otro lado, la viscosidad del fluido de fracturación y su densidad (mayor que el agua) limitan su movilidad vertical; así, es poco probable que estos fluidos puedan migrar desde las fracturas a los acuíferos o la superficie.

Una vez culminado el proceso de fracturación, el pozo se pone en producción. Durante los primeros días, el gas viene acompañado de gran cantidad de líquidos que se denominan *fluido de retorno*, constituido fundamentalmente por el líquido empleado en la fracturación. Las cantidades generadas varían entre un 15 y un 80% del fluido de *fracking* utilizado en la fracturación previa.

Por lo tanto, en cada proceso de fractura se producen efluentes líquidos que pueden contener, además de agua, arena y los productos químicos utilizados, otros componentes, como:

- Compuestos químicos de transformación, que pueden haberse formado debido a las reacciones entre los aditivos empleados en el fluido de *fracking*.
- Sustancias de la formación fracturada que pueden haber sido movilizadas; como metales pesados (arsénico, plomo, cromo, mercurio) y grandes cantidades de sales.
- Materiales radiactivos que de forma natural se pueden encontrar en diversos estratos (uranio, radio, radón, etc.).

Estos efluentes, si son gestionados inadecuadamente, constituyen una fuente potencial de contaminación; además, la naturaleza y las concentraciones de las diferentes sustancias variarán de una formación a otra, por lo que es difícil predecir la composición y el volumen del fluido que retornará a superficie. Estas circunstancias obligan a extremar los cuidados en términos de almacenaje y tratamiento de las aguas residuales generadas.

Una técnica reciente –que desde el año 2015 es obligatorio implantar en los campos de producción de Estados Unidos– consiste en utilizar equipos de separación de fases con emisiones reducidas, también conocidos como *completaciones verdes* (*green completions*). Durante el proceso de puesta en marcha del pozo se recupera el agua de retorno y se separan las arenas, líquidos y gases mediante trampas de arena, separadores y un deshidratador. Este proceso ayuda a reducir emisiones de metano (ya que el gas separado se introduce directamente en la red de transporte y distribución de gas), de compuestos orgánicos volátiles y de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

1.3. El agua en la transformación de la energía (I): la generación de electricidad y de calor

1.3.1. El agua como materia prima

En los procesos de obtención de energía, el agua puede ser el elemento imprescindible que acumula la energía que hay que liberar. Esta energía puede adoptar diversas formas, por ejemplo calor acumulado en las centrales geotérmicas o altura del agua en las centrales hidráulicas.

1.3.1.1. La energía hidroeléctrica

En las centrales hidráulicas se aprovecha la energía acumulada por el agua (en altura o por su velocidad) (figura 1.8). Las explotaciones hidroeléctricas pueden ser a gran escala (grandes centrales) o bien pequeñas explotaciones (micro o minihidráulicas).

Se suele considerar que la primera central hidroeléctrica fue la construida en Northumberland (Reino Unido), en 1880. Un año después comenzó a utilizarse la energía procedente de las cataratas del Niágara (en la frontera entre Estados Unidos y Canadá) para alimentar alumbrado público, y a finales de la década ya existían más de 200 centrales tan solo en esos dos países.

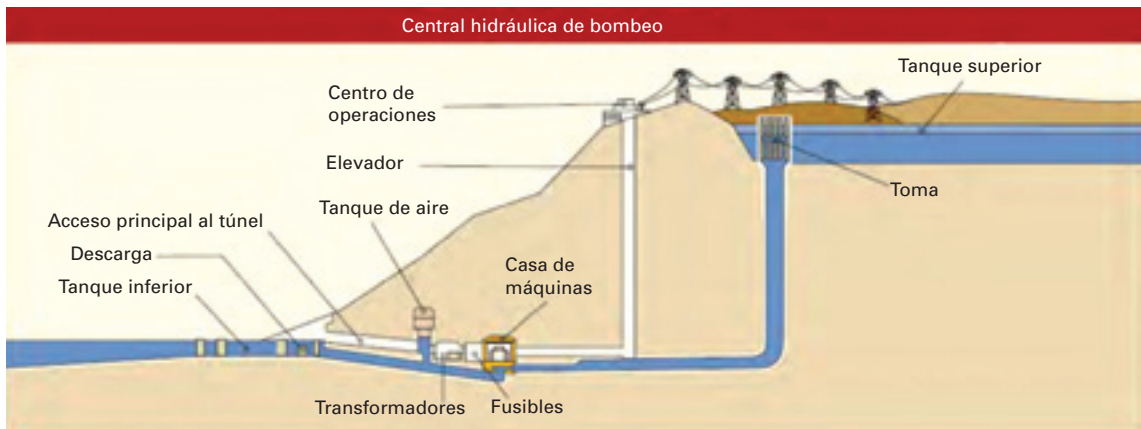


Figura 1.8. Esquema de una central hidráulica reversible de bombeo.
Fuente: elaboración propia (2016).

La producción de energía hidroeléctrica tuvo un rápido crecimiento debido a los desarrollos técnicos experimentados a finales del siglo XIX y principios del XX, especialmente en lo que se refiere a la invención e implementación a gran escala del generador eléctrico y al perfeccionamiento de las turbinas hidráulicas.

A pesar de que las tecnologías de producción de este tipo de energía no han experimentado grandes avances tecnológicos desde principios del siglo XX, sí se han desarrollado nuevos mecanismos para optimizar el rendimiento; así, hoy en día, existen diferentes tipos de turbinas (véase figura 1.9) que son utilizadas de acuerdo con la altura del salto de agua y su caudal (véase tabla 1.4).

Por lo que respecta a las pequeñas instalaciones (micro o minihidráulicas) se suele instalar una pequeña represa o azud para derivar el volumen de agua necesario de un cauce; el caudal y salto pueden mover en continuo una rueda de palas y generar un movimiento aplicado. Inicialmente se trataba de los típicos molinos de grano, de herrería o batanes. En la actualidad se trata de pequeñas turbinas para producir energía.

Volviendo a las grandes centrales en la producción de este tipo de energía, los impactos negativos se producen por la construcción de infraestructuras (embalses, canales...) que influyen en la ecología de los sistemas hídricos, generan cambios en la morfología de los ríos y tienen problemas de aceptación social.



Figura 1.9. Turbina Francis.

Fuente: Fotografía de M. Salgot (Museo del Gas de Sabadell, 2014).

Altura del salto	Turbina
Más de 100 m	Pelton, Turgo, Francis
Entre 20 y 100 m	Francis, Crossflow
De 5 a 20 m	Crossflow, Propeller, Kaplan
Menos de 5 m	Propeller, Kaplan (incluyen turbinas bulbo)

Tabla 1.4. Saltos de agua y tipos de turbinas.

Fuente: elaboración propia.

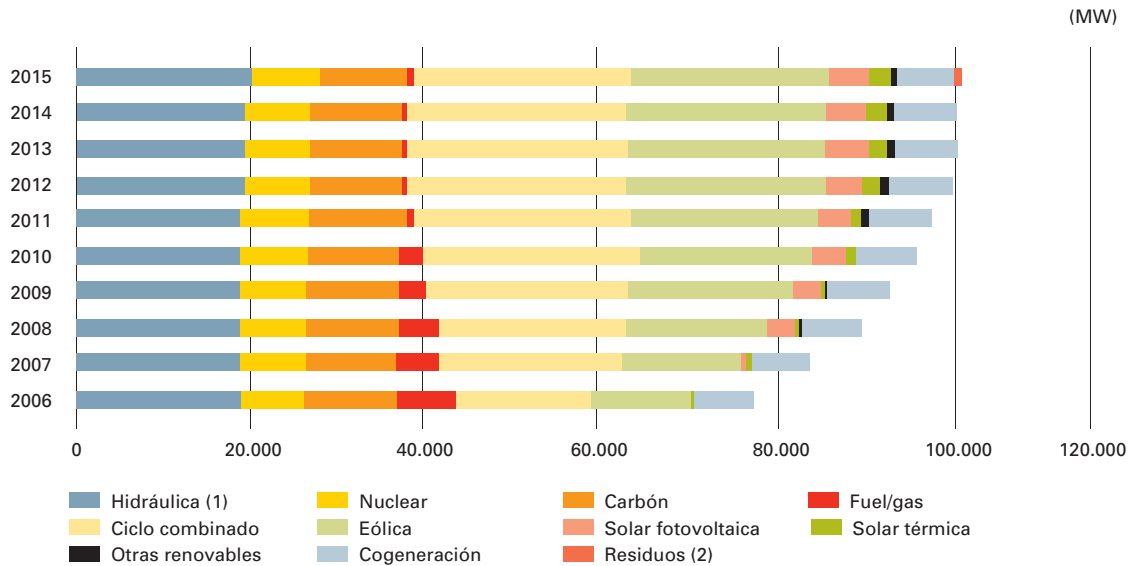
Por otra parte, se deben considerar los impactos positivos de las tecnologías hidroeléctricas, no durante su construcción, sino una vez están operativas. Se trata de una tecnología dependiente del clima (régimen de lluvias), por tanto perfectamente sostenible, y que además contribuye a la regulación de los ríos evitando por una parte los episodios catastróficos (inundaciones) y por otro contribuyendo a la seguridad de suministro para ciudades y agricultura. Cuando la lámina de agua es lo suficientemente extensa, puede utilizarse para otras actividades (ocio, pesca, etc.). Esta modalidad de generación de energía contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y otros gases perjudiciales para el ambiente. También se considera, aunque no sea un tema estrictamente ambiental, la seguridad de generación de energía del país, que se ve aumentada. Una ventaja adicional es la capacidad de poder detener y reiniciar la generación de energía/electricidad en tiempos muy cortos.

Respecto al *mix* energético, las centrales hidráulicas suponen en años pluviosos más del 50% de la energía renovable generada en España. No obstante, en términos absolutos, su producción queda bastante por debajo de la generada por carbón, gas natural o nuclear (figura 1.10).

España tiene una capacidad total de embalse de 55.000 hm³, de los cuales el 46,6% corresponde a embalses hidroeléctricos, una de las proporciones más altas de Europa y del mundo, debido a la orografía y régimen de precipitaciones del país.

Aunque la evolución de la energía hidroeléctrica en España ha sido creciente, en los últimos años ha experimentado una importante disminución relativa en su aportación a la producción total de electricidad, en favor de otras energías renovables. No obstante, todavía sigue siendo una de las renovables más productivas junto con la energía eólica. La energía hidroeléctrica cuenta con una capacidad instalada en España de 20.353 MW, potencia solo superada por los ciclos combinados de gas que, con un total de 26.670 MW, son la primera

1. El agua en el sistema energético



(1) Incluye la potencia de bombeo puro. (2) Potencia incluida en otras renovables y cogeneración hasta el 31/12/2014.
Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la competencia (CNMC) en: hidráulica no UGH, eólica, solar, fotovoltaica, solar térmica, otras renovables, cogeneración y residuos.

Figura 1.10. Evolución de la potencia instalada de energía renovable y no renovable en España en 2006-2015.
Fuente: Red Eléctrica de España, Informe del sistema eléctrico español 2015.

tecnología por potencia instalada, y por la energía eólica, que cuenta con 23.020 MW de potencia instalada.

Por otra parte, aunque los rendimientos de las turbinas hidráulicas son los mayores de todas las tecnologías de generación convencional, en la actualidad, los grandes avances en lo relativo a simulaciones y modelos numéricos han permitido alcanzar unos niveles de eficiencia de las turbinas todavía más elevados, respecto a hace pocos decenios. La cuestión es que gran parte de las centrales tienen más de 40 años, por lo que el rediseño de estas turbinas consigue producir más energía con la misma cantidad de agua.

Además, los impactos medioambientales negativos producidos son cada vez menores, al implementarse caudales ecológicos y medidas paliativas en el entorno de las instalaciones, como las “escalas de peces” o la recuperación de riberas.

1.3.1.2. La energía geotérmica

La energía geotérmica se considera como una energía renovable y es la energía calorífica almacenada en el subsuelo terrestre. Dado que el interior de la Tierra está caliente y que la temperatura aumenta con la profundidad (gradiente geotérmico), aunque haya formaciones geológicas relativamente superficiales asociadas a fenómenos de vulcanismo, el agua de los acuíferos (agua freática) en contacto con las rocas calientes adquiere temperatura y al ascender el agua caliente o transformada en vapor (véase tabla 1.5) produce manifestaciones externas como las fuentes termales. Tradicionalmente destinadas a aplicaciones de baño o medicinales, en la actualidad también son empleadas como fuente de energía para calefacciones, turbinas, etc. Para la producción de energía eléctrica solo se consideran las fuentes de alta temperatura.

Su principal ventaja es que es una fuente constante de energía y no está sometida a las condiciones climáticas.

En España hay pocas zonas con recursos geotérmicos de alta temperatura, por lo que no se ha desarrollado aún ningún proyecto para su aprovechamiento en generación eléctrica (figura 1.11). Sin embargo, se han ejecutado numerosos proyectos de aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía, fundamentalmente para climatización doméstica y de sector terciario (bomba de calor geotérmica).

Las centrales eléctricas geotérmicas funcionan en muchos aspectos de manera similar a las centrales térmicas tradicionales en cuanto a la conversión de calor en electricidad mediante

Alta temperatura	150-400 °C	Suelen producir vapor en superficie y con una turbina pueden generar electricidad.
Media temperatura	70-150 °C	Se explotan mediante un fluido volátil y permiten crear sistemas urbanos de reparto de calor o de refrigeración, aparte de pequeñas centrales eléctricas.
Baja temperatura	50-70 °C	Se emplean para necesidades domésticas o agrícolas como la climatización y para aplicaciones medicinales.
Muy baja temperatura	< 50 °C	Se emplean para necesidades domésticas o agrícolas como la climatización y para aplicaciones medicinales.

Tabla 1.5. Clasificación por temperaturas de las formaciones geotérmicas.
Fuente: elaboración propia.

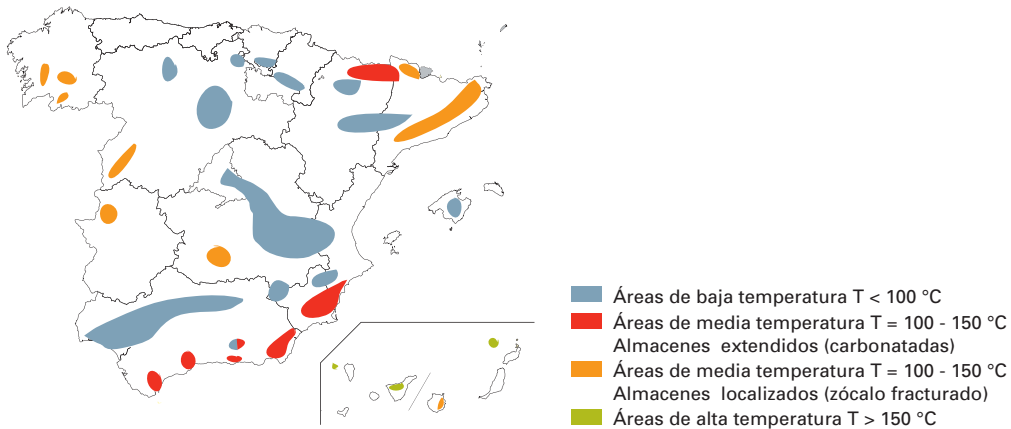


Figura 1.11. Clasificación de las formaciones geotérmicas en España.
Fuente: Instituto Geológico y Minero de España (consultado en 2016).

un turbogenerador. La diferencia es la fuente de calor: en los proyectos geotérmicos son los fluidos geotérmicos subterráneos.

La elección de la tecnología de explotación de estas aguas dependerá fundamentalmente del tipo de recurso disponible, según se detalla en la tabla 1.6.

En los últimos años se han descrito algunas tecnologías emergentes en relación con la energía geotérmica:

- Sistemas geotérmicos mejorados (SGM) o *Enhanced Geothermal Systems* (EGS). Se incrementa la permeabilidad para generar electricidad en formaciones de permeabilidad o fluido geotérmico limitados, que no podrían ser explotadas mediante tecnologías convencionales. Los SGM implican la inyección de agua a una presión suficiente para ampliar y propagar las fracturas existentes y estimular la reserva geotérmica.
- Sistemas de coproducción. Emplean el agua caliente que se extrae durante el proceso de explotación de petróleo y gas para producir electricidad. Estos sistemas son innovadores en cuanto al uso del agua, pero pueden emplear tecnologías de generación convencional o emergente para producir electricidad (Cross y Freeman 2009).
- Plantas optimizadas de ciclo binario. Emplean fluidos orgánicos con puntos de ebullición inferiores que los que emplean las plantas de ciclo binario tradicionales, lo que permite la

Tipo de yacimiento	Condiciones geológicas	Localización geológica	Técnicas de explotación
<i>Convencional</i>	Fuente de calor en profundidad. Formación permeable que permita circulación del fluido geotérmico. Cobertera que mantenga condiciones de presión y temperatura.	Gradiente geotérmico anómalo > 33 °C/km. Zonas de separación y subducción de placas o puntos calientes intraplaca.	<i>Flash</i> . Vapor seco. Ciclos binarios.
<i>No convencional</i> Roca seca caliente (HDR): Muy baja permeabilidad o sin fluido. Sistemas geotérmicos mejorados (SGM)/<i>Enhanced Geothermal Systems</i> (EGS): Formaciones de permeabilidad limitada; con cierta cantidad de fluido caliente y fracturas que pueden estimularse para la recuperación de energía.	Formación impermeable o seca, T = 100-180 °C. Suficiente profundidad para asegurar roca caliente, aislante térmico y desarrollo de fracturas. No requieren gradientes geotérmicos elevados; sí un contexto geológico específico.	Zonas de actividad distensiva intraplaca, como las fosas neógenas (valle del Rin, depresiones prelitorales catalanas).	Ciclos binarios.

Tabla 1.6. Técnicas de explotación según el tipo de yacimiento.

Fuente: elaboración propia.

conversión más eficiente de energía a bajas temperaturas o a partir de los fluidos extraídos utilizando los SGM (GE Global Research, 2010).

1.3.1.3. El agua en la captación de recursos energéticos del mar

Los cuerpos de agua pueden ser el lugar donde se capta energía implícita, debido a la altura relativa del agua (principalmente embalses en ríos o lagos/lagunas: energía hidroeléctrica) o bien en el caso del agua de mar, en la que se encuentra una cantidad de energía muy importante en términos cuantitativos pero al mismo tiempo muy poco concentrada en el espacio.

Energía del agua de mar

La energía generada en los océanos (movimiento del agua) se disipa en los bordes continentales y se concentra principalmente en las costas. Se puede plantear su aprovechamiento de

1. El agua en el sistema energético

Origen de la energía	Características principales	Capacidad de generación anual	
		GW	TWh
Olas	Los vientos originan el oleaje. El 0,01% del flujo de energía solar hacia la Tierra se transforma en energía de las olas. Las olas se desplazan a grandes distancias sin apenas pérdida de energía.	1.000 a 9.000	8.000 a 80.000
Mareas	La influencia combinada del Sol y la Luna genera las mareas (véase figura 1.12). Las mejores posibilidades de aprovechamiento se dan en las bahías estrechas, largas y profundas, aunque no únicamente. El flujo de grandes volúmenes de agua en canales estrechos es la base de este aprovechamiento.	$5 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^9$
Termal oceánica	La diferencia de temperatura entre fondo y superficie de los mares puede aprovecharse para generar energía. La diferencia con la que se obtiene el rendimiento máximo es de 30 °C.	1.000	10.000
Corrientes marinas	Causadas principalmente por la subida y bajada de las mareas como resultado de las interacciones gravitacionales entre la Tierra, la Luna y el Sol. También hay una cierta influencia de los vientos constantes. Las diferencias regionales en la temperatura y la salinidad y el efecto de Coriolis debido a la rotación de la Tierra son también influencias importantes.	5.000	50.000
Biomasa marina	En el sistema marino, las algas son las especies más adecuadas (algunas tienen un elevado contenido en aceites, como las algas verde-azules) para la obtención rentable de biomasa.	SD	SD
SD: sin datos.			

Tabla 1.7. Recursos energéticos marinos globales teóricos.

Fuente: elaboración propia.

diversas maneras, según se indica en la tabla 1.7. La cantidad de energía de las olas, corrientes y mareas es muy importante en cantidad y su aprovechamiento se basa en sistemas capaces de “recolectar” esta energía dispersa.

Su potencial energético teórico es varias veces mayor que la demanda mundial de electricidad en la actualidad y equivale a 4-18 millones de tep (toneladas equivalentes de petróleo). Como se ha indicado, la dispersión de esta energía hace que su aprovechamiento requiera tecnologías que están aún en distintos grados de desarrollo, excepto las de las centrales ma-

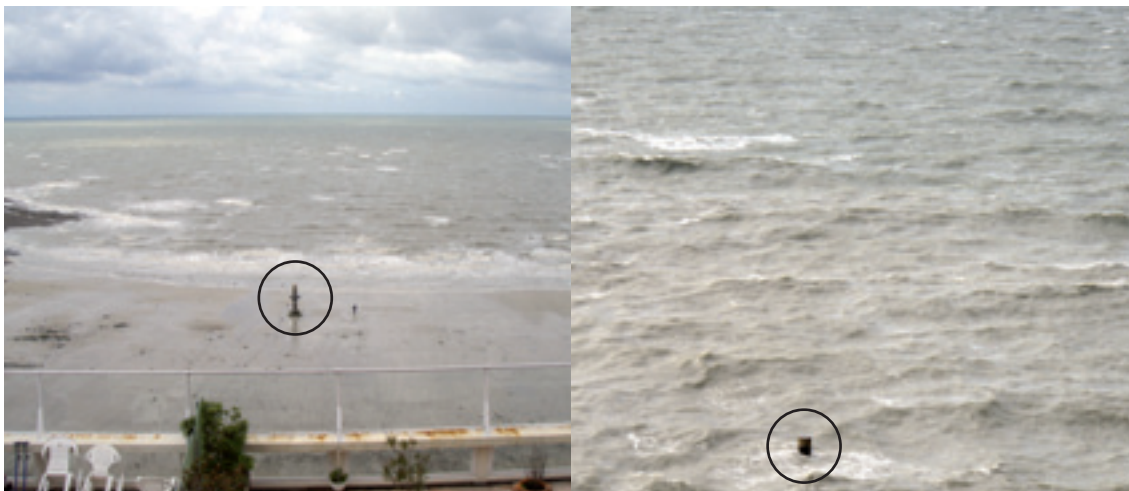


Figura 1.12. Diferencia de altura del agua entre marea baja (izquierda) y alta (derecha) en Granville (Francia).
Fuente: Fotografías de M. Salgot (2007).

reomotrices explotadas desde hace años, principalmente en Francia y en la frontera atlántica entre Estados Unidos y Canadá.

En España, hay varios proyectos basados en el oleaje con un cierto éxito inicial. Cabe recordar que, en países como Noruega, Portugal o Escocia, hay instalaciones de este tipo que funcionan a pleno rendimiento y con resultados muy positivos.

Los municipios de Santoña (Cantabria) y Pasajes (Guipúzcoa) cuentan desde el año 2009 con dos prototipos que buscan aprovechar la fuerza de las olas. En el primer caso, se trata de una boya que aprovecha el movimiento vertical de las olas para producir 40 kW, lo que, con el proyecto completado con más boyas, generaría unos 1.400 kW al año. En Pasajes está instalado un prototipo más pequeño que se pretende ampliar para generar hasta 500 kW.

El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, por encargo del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), elaboró un atlas de la energía potencial de las olas en el litoral español. Este incluye la caracterización espacial del flujo medio de energía (magnitud y dirección) desde profundidades indefinidas hasta la costa, con una alta resolución, y tiene en cuenta su variabilidad temporal a distintas escalas: mensual, estacional, anual e interanual.

Por otra parte, la construcción de las instalaciones para el aprovechamiento hidráulico marino produce un efecto negativo en la flora y fauna marinas, pues transforma su hábitat natural al ocupar artificialmente una zona en la que antes no había influencias externas. Una alternativa que está empezando a expandirse es el empleo de generadores a partir de corriente de marea, debido a los costes más bajos y a un menor impacto ecológico en comparación con las presas de marea.

Se considera que estas tecnologías no están más extendidas por la dificultad de encontrar lugares adecuados para la instalación de grandes equipos, por el obstáculo que pueden representar para la navegación y por el hecho de que son fuentes de energía muy difusas (poco concentradas); por todo ello es preciso encontrar tecnologías adecuadas ya que actualmente los costes de producción son más elevados que los de las fuentes convencionales y otras renovables.

1.3.2. El agua como componente de proceso

En la mayor parte de procesos de obtención de energía o de transformación de energía en electricidad se emplea agua en forma de vapor. Este se genera a presiones por encima de la atmosférica, empleando la energía de un combustible o energía eléctrica. Con ello se hace funcionar una turbina en un ciclo de Rankine modificado. El ciclo de Rankine es el ciclo ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales térmicas, tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo. Utiliza un fluido que alternativamente se evapora y condensa. Cuando se quema un combustible, el vapor de agua se produce en una caldera a alta presión y se lleva a una turbina donde se expande para generar trabajo mecánico en su eje. El eje, unido a un generador eléctrico, es el que generará la electricidad en la central térmica.

Por sus características, el vapor de agua presenta en general grandes ventajas sobre los otros fluidos térmicos utilizados (aceites térmicos, agua sobrecalentada, otros gases, etc.), ya que:

- es una materia prima fácil de encontrar y barata;
- puede trabajar en un amplio rango de temperaturas;
- no es tóxica;
- no es inflamable;
- es fácilmente transportable;

- tiene un calor de condensación elevado;
- tiene un calor específico elevado;
- su temperatura es fácilmente regulable.

El agua es, por tanto, el componente de proceso en las centrales, por lo que se detallan a continuación las características de cada central en relación con el agua.

1.3.2.1. Centrales térmicas

Las centrales térmicas convencionales generan energía mediante calderas en las que se produce vapor de agua (figura 1.13). El vapor hace rotar los álabes de una turbina que giran solidariamente con un generador asíncrono, que produce la energía eléctrica. El vapor de agua es enfriado en un condensador y convertido en agua líquida que vuelve a iniciar el proceso (ciclo de Rankine, mencionado anteriormente).

El agua que refrigera el condensador expulsa el calor producido a la atmósfera mediante torres de refrigeración y por último, parte del calor llega al medio hídrico mediante los vertidos de agua, con aún cierto grado de calor residual que en las instalaciones más recientes se



Figura 1.13. Central térmica convencional de carbón.
Fuente: Gas Natural Fenosa (consultado en 2016).

reaprovecha en parte. En las zonas donde no hay disponibilidad de agua se utilizan aerocondensadores, siendo el medio refrigerante el aire. En ciertos casos en los que no existe torre de refrigeración se vierte al medio sin refrigerar.

Los combustibles empleados pueden ser convencionales (térmicas de carbón y derivados del petróleo como fuel o gas natural) o no convencionales (biomasa o energía solar).

Se denominan centrales térmicas no convencionales a las de ciclo combinado, lecho fluidizado y carbón gasificado integradas en un ciclo combinado (véase figura 1.14).

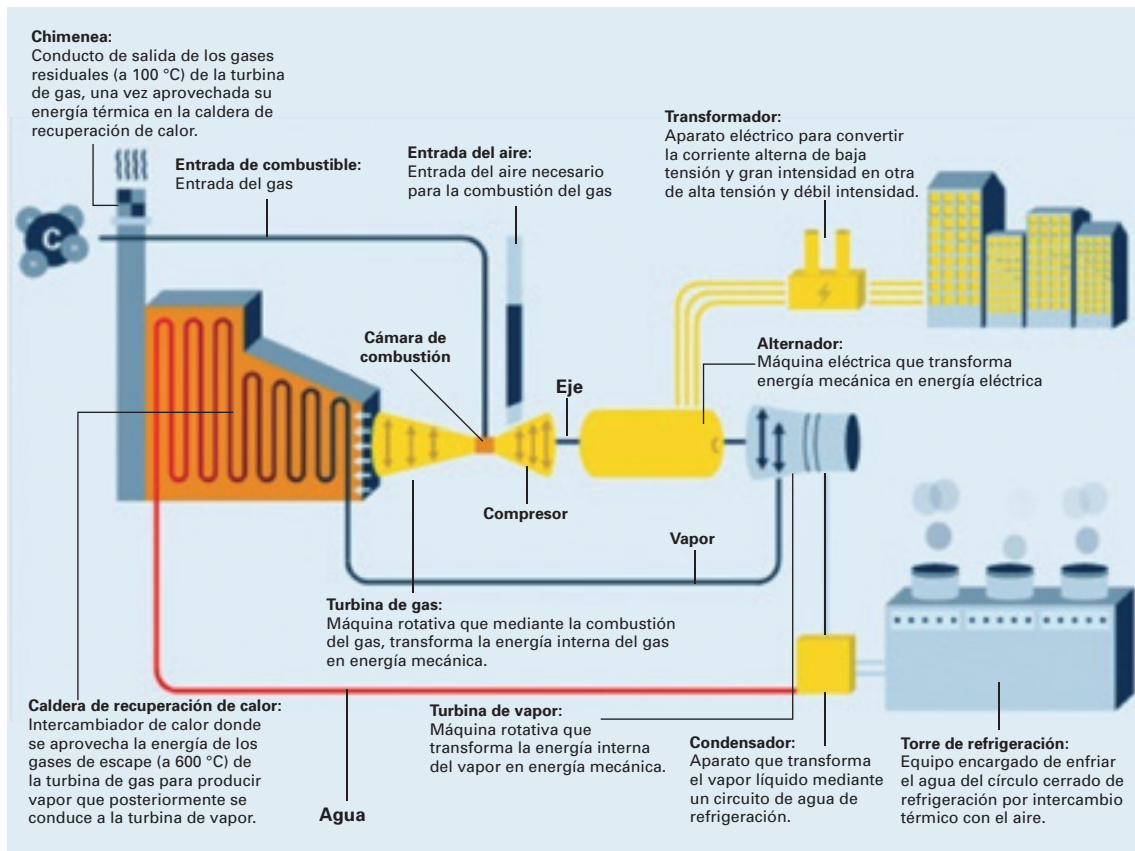


Figura 1.14. Central de ciclo combinado.
Fuente: Gas Natural Fenosa (2016).

La tecnología de las centrales de ciclo combinado permite un mayor aprovechamiento del combustible, con un aumento de los rendimientos desde un 38 hasta un 60%. Requieren combustibles de alta calidad y generan contaminación por gases.

1.3.2.2. Centrales de carbón

- Las centrales térmicas que emplean carbón como combustible lo queman pulverizado o en trozos. La combustión es más eficiente y controlable con el carbón pulverizado. Se consideran centrales que generan efecto invernadero, y tienen altos costes de inversión, bajo rendimiento y un arranque lento. En la actualidad se están estudiando e implantando medidas para reducir la generación de contaminantes, lo que tiene una cierta incidencia en su rentabilidad.
- Las centrales de lecho fluidizado queman carbón en un lecho de partículas inertes por el que pasa una corriente de aire que mantiene la mezcla en suspensión. En ciclos combinados con carbón, el rendimiento se aproxima al 50% y, si se añade caliza, se consigue reducir la contaminación por dióxido de azufre. La temperatura en la caldera oscila entre 820 y 840 °C.
- Las centrales de gasificación integrada de carbón se basan en la transformación del carbón en un gas sintético formado por CO y H₂. Su potencia suele ser inferior a la de las térmicas convencionales. Su ventaja principal es la escasa contaminación ambiental por óxidos de azufre y partículas que generan. Las instalaciones más recientes pueden alcanzar eficiencias de más del 90% y admiten combustible de baja calidad.

1.3.2.3. Centrales de gas natural

Las centrales de ciclo combinado transforman la energía térmica del gas natural en electricidad en dos ciclos consecutivos, mediante una turbina de gas convencional y una turbina de vapor. El calor generado en la combustión en la turbina de gas se lleva a un elemento recuperador del calor y se emplea para mover una o varias turbinas de vapor. Las turbinas, de gas y vapor, pueden estar acopladas a un alternador común o bien tener cada una su propio generador. La energía mecánica generada por las turbinas se convierte en energía eléctrica. Estas centrales de ciclo combinado alcanzan unos rendimientos en torno al 60%.

1. El agua en el sistema energético

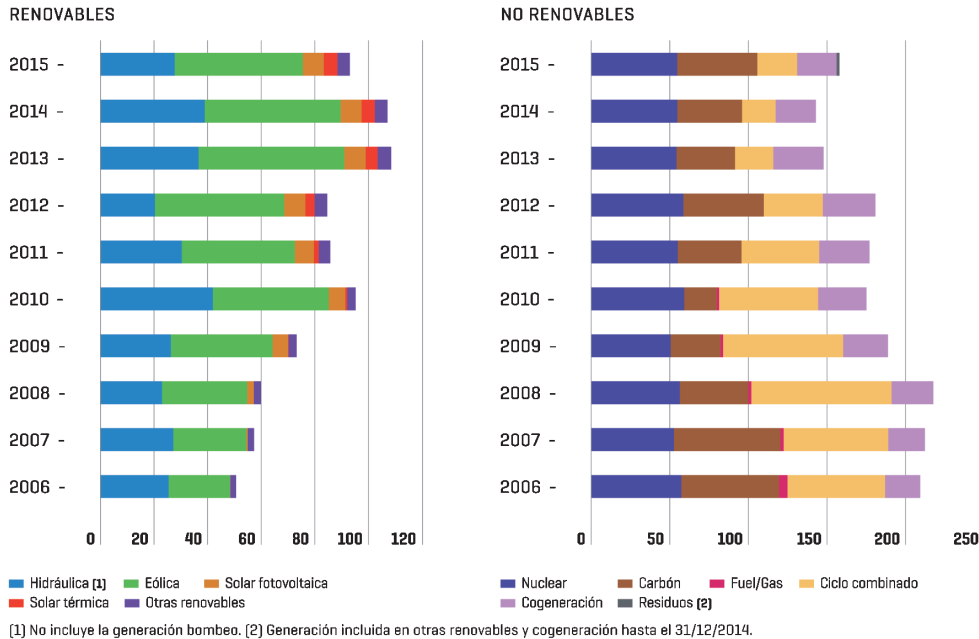


Figura 1.15. Evolución de la producción de energía renovable y no renovable peninsular (TWh).
Fuente: Red Eléctrica de España (2016).

1.3.2.4. Biomasa

La biomasa es una fuente de energía que está cobrando mucha importancia en el contexto actual de potenciación de la economía circular, impulsada por la Unión Europea. La discusión es sobre su rentabilidad en un contexto en el que los precios de las materias primas para generar energía son muy variables. Su ventaja teórica es su sostenibilidad asociada.

La biomasa es una de las fuentes de energía renovable, que en su conjunto (eólica, solar, etc.) se considera que en España pueden tener un límite de producción del 20%, por lo que hay que generar el 80% de la energía por otro medio (figura 1.15). Hay que plantear también su variabilidad temporal. La biomasa se emplea como combustible para generar vapor, como sucede con otras fuentes (carbón, derivados del petróleo, etc.).

Por otra parte, si la biomasa se produce en sistemas suelo-planta que requieren regadío, se está entrando en competencia con otros usos del agua y con el empleo de los suelos para cultivos alimentarios. Por tanto, se requieren cálculos de coste-beneficio adecuados que deben incluir además el transporte de la biomasa hasta su punto de empleo.

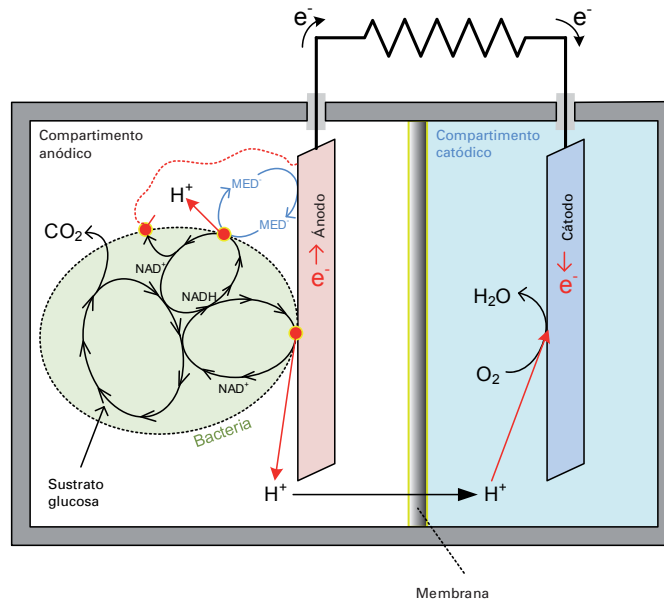


Figura 1.16. Celda de combustible microbiana de doble cámara.

Fuente: Grupo de Investigación de Ingeniería Química y de Procesos, Universidad Politécnica de Cartagena (2016).

1.3.2.5. Energía desde las depuradoras de aguas residuales

En las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), los procesos de digestión aerobia generan principalmente gases con oxígeno, mientras que los anaerobios causan gases reducidos, que tienen la capacidad de producir energía mediante su combustión. Estos gases reducidos se pueden denominar *biogás* (véase Caso 3 del capítulo 3) que dado su elevado contenido en metano se puede aprovechar para la generación de energía.

En los últimos años se están investigando otras opciones para producir o recuperar energía en las depuradoras, desde las diferencias de temperatura del agua hasta la producción de algas o las pilas de combustible microbianas (figura 1.16), incluyendo pequeñas turbinas para aprovechar diferencias de altura.

1.3.2.6. La energía solar

La radiación solar es una fuente de energía muy importante. Existen dos modalidades de instalaciones para aprovechar esta energía: la solar fotovoltaica y la solar térmica. Cada una

de estas instalaciones utiliza captadores o colectores diferentes en función de la energía que generan: electricidad o calor. En la tabla 1.8 se detallan sus características.

La energía termosolar ha experimentado un desarrollo importante en los últimos decenios, pero hay que considerar que:

- Depende de una fabricación de componentes intensiva en energía, por lo que su análisis de ciclo de vida teóricamente positivo se ha discutido.
- Ocupa una extensión de superficie importante.
- Incluye la posibilidad de almacenamiento térmico, lo que no tienen otras formas de generar electricidad. En concreto, las centrales termosolares españolas funcionan con 7,5 horas diarias de almacenamiento, aunque las hay con 15 (Gemasolar en la provincia de Sevilla) y 17 horas.
- No suele depender del agua como materia prima, sino como fluido conductor de la energía solar.
- Se consideran más eficientes energéticamente que las instalaciones de solar fotovoltaica, aunque la discusión se centra en la economía.

Se calcula que en España (2015) hay unos 7.000 MW de potencia solar instalada, de los cuales 4.700 se generan con energía fotovoltaica y 2.300 mediante energía termosolar.

Captadores / colectores	
Fotovoltaica	Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares asociadas entre sí para ofrecer las condiciones eléctricas (voltaje e intensidad) requeridas para la generación de electricidad requerida (ver figura 1.17). Captadores utilizados en las instalaciones de energía solar fotovoltaica.
Baja temperatura	Placas planas que se emplean para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Captadores utilizados en las instalaciones de energía solar térmica.
Media temperatura	Se utilizan –como en la alta temperatura– concentradores. Captadores utilizados en las instalaciones de energía termosolar.
Alta temperatura	Concentradores de la luz solar, espejos o lentes, para producir energía eléctrica (ver figura 1.18). Captadores utilizados en las instalaciones de energía termosolar.

Tabla 1.8. Tipos de colectores de energía solar térmica.

Fuente: elaboración propia.



Figura 1.17. Placas fotovoltaicas para la captación de energía solar.
Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (consultado en 2016).

La potencia instalada de energía solar térmica en América Latina se indica en la tabla 1.9, así como la de las otras fuentes de energía empleadas en el continente.

Una de las líneas más interesantes en el campo de la captación de energía solar se basa en que hay materiales que absorben energía para pasar de sólido a líquido, y la liberan en el proceso contrario. Además, en estos procesos de cambio de fase se intercambia energía sin variar la temperatura. La ventaja es que no es necesario alcanzar temperaturas tan elevadas como en el caso del agua.

En sistemas con cambio de fase del material de almacenamiento (sólido a líquido o viceversa) hay otros compuestos, aparte del agua, con esta capacidad; como determinadas sales, parafinas, polietilenglicoles, clatratos, etc.

Para cuantificar, la cantidad de energía necesaria para evaporar 1 l de agua es 2.257 kJ (539,4 kcal/kg) a 100 °C y presión atmosférica normal, y para un agua con contenido de sales reducido.

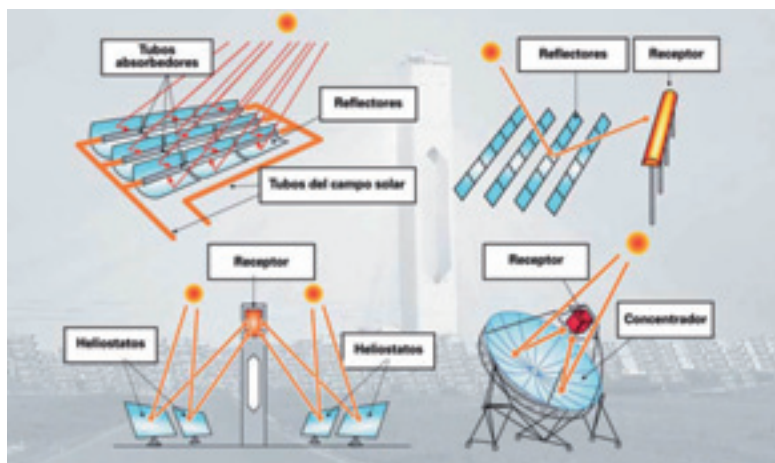


Figura 1.18. Principales tecnologías de concentración, CP, CLF, RC y DP.
Fuente: elaboración propia (2016).

	Potencia hidroeléctrica instalada (MW)	Capacidad instalada por tipo de planta (MW)				
		Hidroeléctrica	Termosolar	Nuclear	Otros*	Total
Total América Latina y Caribe	693.506	156.852	149.764	4.390	5.740	316.745

* Geotérmica, solar y eólica.

Tabla 1.9. Potencia termosolar instalada en América Latina, en comparación con otras fuentes de energía.
Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), *Energía en Cifras*. Quito, 2012.

1.3.3. El agua como componente de refrigeración

1.3.3.1. El agua como componente de refrigeración en centrales térmicas

Puesto que las centrales térmicas tienen rendimientos relativamente modestos, requieren evacuar un porcentaje importante de su potencia térmica total (véase apartado 1.3.2.1). Es decir, la combustión genera más energía térmica que la que la planta es capaz de transformar en energía eléctrica.

Se consideran tres técnicas convencionales para esta evacuación de calor/refrigeración:

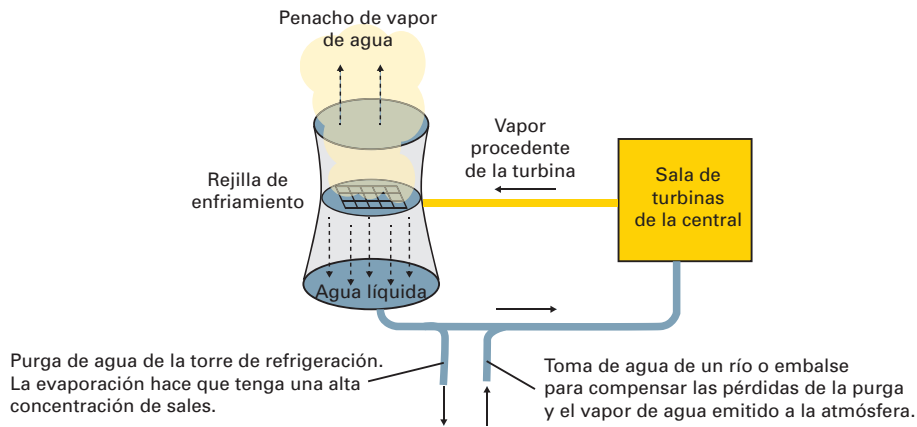


Figura 1.19. Sistema de refrigeración de circuito semiabierto.

Fuente: elaboración propia (2016).

- circuito abierto;
- circuito semiabierto con torres de refrigeración;
- aerocondensación.

Hay que indicar que en algunos casos las instalaciones disponen de sistemas de lagunas para captar y verter el agua, lo que facilita la gestión y permite reciclar el agua. En otros casos, el vertido es a cuerpos de agua naturales (mar, ríos, lagos).

Circuito abierto

Consiste en la captación directa de agua de un río, lago o mar cercano, que pasa por el condensador, y en algunos casos por una torre de refrigeración para reducir el impacto ambiental, y que es devuelta al medio después de sufrir un salto térmico. Es una técnica barata y fácil de implantar, pero consigue menor temperatura en el condensador. Al ser la temperatura menor, se condensa mayor cantidad de vapor y el nivel de vacío en el condensador es mayor. Una central refrigerada por captación directa tiene una potencia de unos 5 MW superior a la misma central refrigerada por torre de refrigeración, y unos 10 MW más que si la refrigeración fuera por aerocondensadores, para una planta tipo de unos 400 MW de potencia.

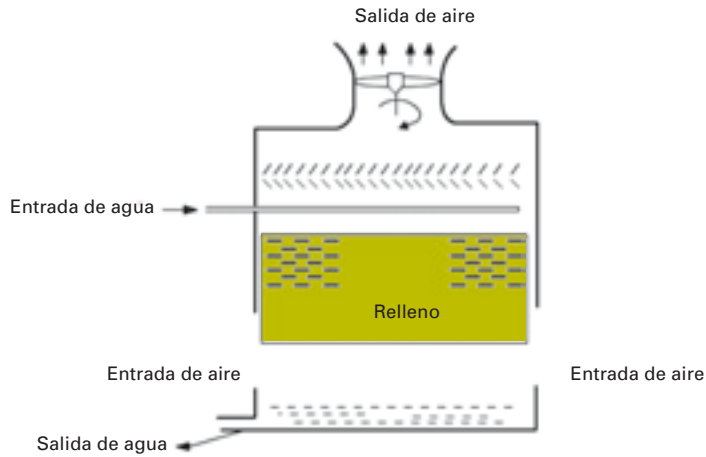


Figura 1.20. Torre de tiro inducido.

Fuente: Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (consultado en 2016).

Con el agua de refrigeración se consigue disminuir la temperatura del condensador y, por tanto, disminuir la presión de saturación (o sea, mejorar el vacío del condensador). A consecuencia de ello, el trabajo entregado a la turbina de vapor aumenta y por tanto también la potencia. El caudal de vapor que entra en la turbina es el mismo que posteriormente entra en estado líquido saturado en el condensador.

En verano, al ser la temperatura de refrigeración más alta, o cuando los tubos del condensador están sucios (menor caudal de agua de refrigeración), se incrementa la temperatura del condensador, el vacío es peor y como consecuencia la potencia de la turbina de vapor es inferior.

Circuito semiabierto con torres

Se utiliza cuando no se dispone de un cuerpo de agua (río, mar, lago, etc.) del que extraer el agua y devolverla a mayor temperatura. La principal ventaja de estas torres (figura 1.19) es que el aporte de agua es mucho menor. El inconveniente es que el condensador está a un nivel energético mayor, por lo que el salto térmico es menor y el rendimiento de este tipo de centrales es también menor que con un circuito abierto. Existen tres tipos de torres de refrigeración tal como se describe en la tabla 1.10.

<p>Torres de tiro inducido</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las más usadas en instalaciones de gran tamaño. • El agua caliente se distribuye uniformemente al caer por el interior de la torre. El aire circula a contracorriente del agua mediante ventiladores en la parte superior. • Con el contacto del agua caliente con el aire se forma una película de aire húmedo alrededor de cada gota de agua. • El agua extrae el calor necesario para la evaporación del mismo líquido, que así se enfría. • Por la parte superior sale el aire húmedo, visible si las condiciones ambientales dificultan la disolución del vapor en el aire. • Las torres pueden ser bajas, lo que reduce la energía necesaria para el bombeo de agua a sus partes altas (figura 1.20).
<p>Torres de tiro forzado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dotadas de un ventilador con el eje horizontal en el lado de la torre, que descarga aire hacia atrás. • El flujo de aire es dirigido hacia arriba por mamparas, pasa a través de la corriente descendente del agua y es descargado por la parte superior a través de un sistema que elimina el rocío. • La velocidad del aire de salida es más baja que las velocidades de descarga de la torres de tiro inducido.
<p>Torres de tiro natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El aire se mueve por efecto chimenea y no se consume energía para moverlo. Son muy seguras en su funcionamiento y se emplean para enfriar grandes caudales de agua. • Ocupan un volumen mayor que las torres de tiro inducido o forzado, ya que las velocidades del aire son bajas (figura 1.21).
<p>Aerocondensadores (se pueden considerar un sistema de refrigeración distinto y no propiamente una torre de refrigeración)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crean menos problemas ambientales, con mayor coste y reducen más el rendimiento. Se intercambia calor entre la atmósfera y el vapor de la salida de la turbina. • El vapor pasa a través de haces tubulares que aumentan la superficie de contacto y se enfría en contacto con el metal del aerocondensador, enfriado a su vez por la corriente de aire que provocan unos grandes ventiladores, colocados en horizontal. • Hay menor rendimiento, consecuencia de la disminución del salto térmico en la turbina de vapor, al estar el foco frío de la turbina (es decir, la salida) a un nivel mayor. La pérdida es de unos 10 MW para una planta de 400 MW, sobre la potencia que alcanzaría una central igual refrigerada en circuito abierto.

Tabla 1.10. Tipos de torres de refrigeración y sus características.

Fuente: elaboración propia.

1.3.3.2. Centrales nucleares

Una central nuclear es una central termoeléctrica en la que actúa como caldera un reactor nuclear (figura 1.22). La energía térmica se origina por las reacciones nucleares de fisión en el combustible nuclear formado por un compuesto de uranio o plutonio. El combustible nuclear más empleado es el uranio, enriquecido hasta el 3 a 4% en el isótopo U-235 (frente al 0,3% que contiene el uranio natural).

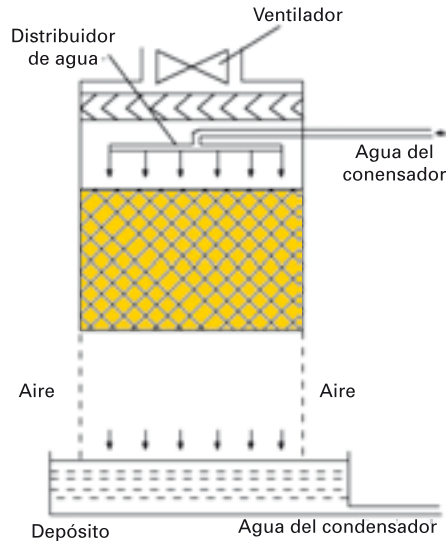


Figura 1.21. Torre de tiro natural.

Fuente: Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (consultado en 2016).

El combustible nuclear se encuentra en el interior de una vasija herméticamente cerrada, junto con un sistema de control de la reacción nuclear y un fluido refrigerante, lo que constituye el denominado *reactor nuclear*. El calor generado en el combustible del reactor y transmitido después a un refrigerante se emplea para producir vapor de agua, que acciona el conjunto turbina-alternador, que a su vez genera la energía eléctrica.

Existen dos tipos principales de reactores: el reactor de agua en ebullición (conocido por las siglas BWR, del inglés *Boiling Water Reactor*) y el reactor de agua a presión (o PWR, de *Pressurized Water Reactor*). En el primero, el BWR, el vapor se genera directamente en el núcleo del reactor y va directamente también a mover la turbina. En el tipo PWR, el vapor se genera en un elemento intermedio, generador de vapor, desde el que por un circuito secundario va a mover el conjunto turbina-alternador.

Como en cualquier central termoeléctrica, es necesario refrigerar el agua del condensador asociado a la turbina-alternador. Esta refrigeración puede hacerse de diversas formas, desde la refrigeración directa mediante agua de un río, lago o agua de mar; hasta la refrigeración mediante torres de tiro natural o forzado. En estas torres se produce el mayor consumo de

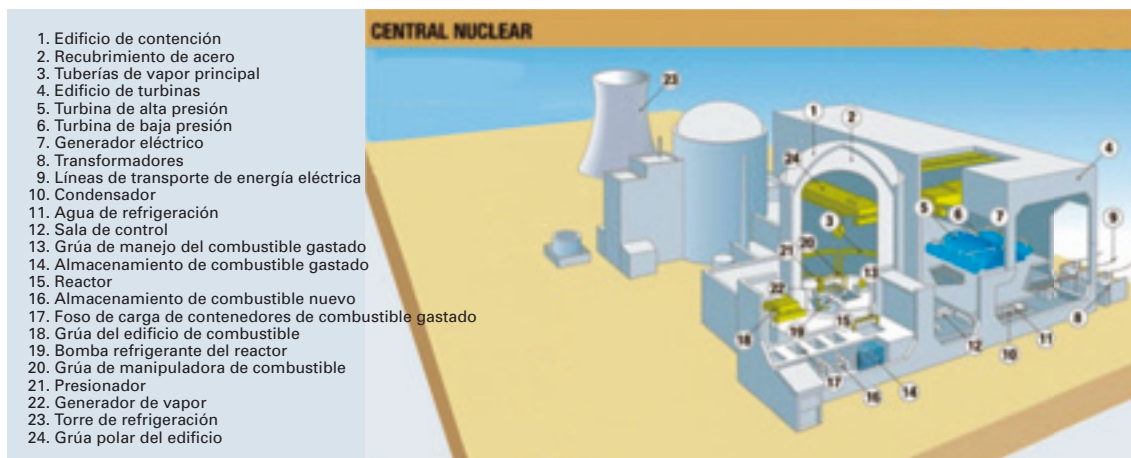


Figura 1.22. Esquema de una central térmica nuclear.

Fuente: Unesa - Asociación Española de la Industria Eléctrica (consultado en 2016).

agua por evaporación. No se generan gases de efecto invernadero al no requerirse combustibles fósiles.

El parque de centrales nucleares en España, integrado por ocho reactores, en seis centrales, actualmente en explotación (2016), usa menos de 2,8 hm³ anuales de agua dulce, tomada de ríos y embalses de distintas cuencas hidrográficas, así como del mar. De este volumen solo se pierde un 2% por evaporación.

1.4. El agua en la transformación de la energía (II): la elaboración de combustibles

1.4.1. El agua en las refinerías de petróleo

Una refinería (destilería) es una instalación compleja que trata el crudo de petróleo (figura 1.23) para obtener combustibles de origen fósil, que se emplean en motores de combustión, o materias primas como butano, propano, aceites minerales y lubricantes, asfaltos, plásticos, etc.

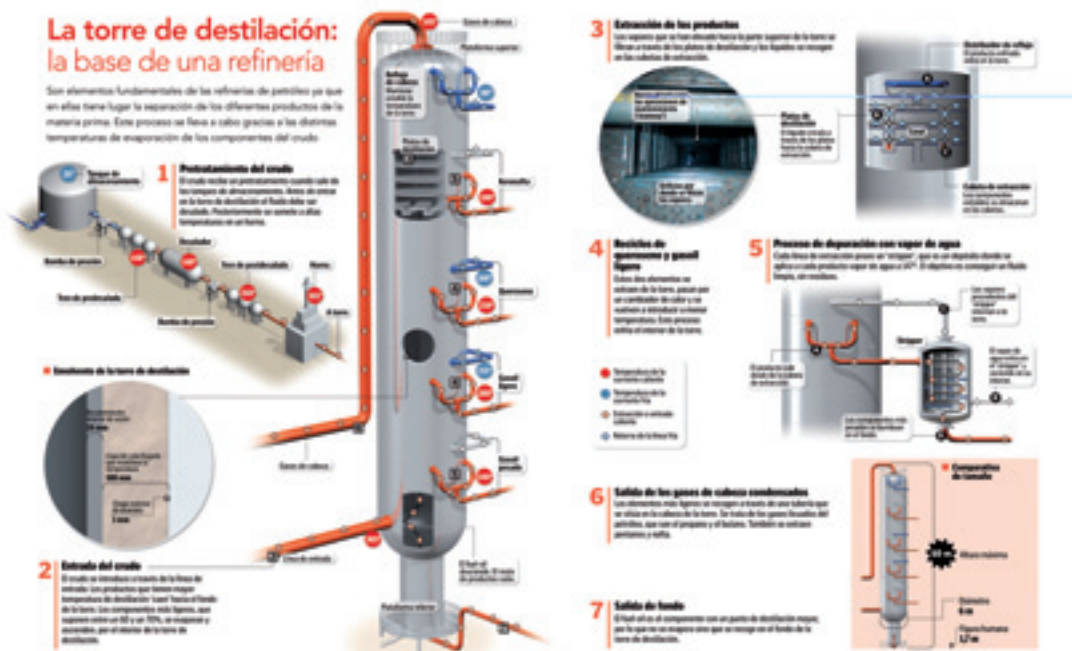


Figura 1.23. Torre de destilación de una refinería.
Fuente: Cepsa (consultado en 2016).

Las más de 600 refinерías existentes en el mundo producen diariamente más de 13 millones de metros cúbicos de productos refinados. Cada refinería tiene características específicas de operación y su funcionamiento está determinado por su situación geográfica, su antigüedad, las modificaciones y ampliaciones realizadas en ella para mejorar la conversión, el crudo de que dispone, la demanda de productos (de los mercados locales y/o para exportación), los requisitos de calidad de los productos, la legislación, los estándares ambientales y los requisitos del mercado; principalmente. Si es posible se instalan en la costa para ahorrar costes de transporte.

En este tipo de instalaciones se emplea agua en cantidad importante para enfriamiento de los productos, producción de vapor de agua, procesos de refinación y reacción, y retirar materiales indeseables de la corriente de proceso.

En una refinería tradicional, sin características específicas en los usos de agua y su recuperación y de una cierta antigüedad, se estiman unas necesidades de unos 2,6 m³ de agua por cada

	%
Enfriamiento	58
Procesos	13
Servicios auxiliares	9
Vapor	20
Total	100

Tabla 1.11. Usos del agua en una refinería.

Fuente: elaboración propia.

tonelada de crudo refinado. Para una refinería de 700.000 toneladas/año de procesado supone del orden de 18 hm³ de agua (una cantidad significativa) que se reparten como se indica en la tabla 1.11.

De los 18 hm³, unos trece irían al flujo de salida (vertido a cuerpo receptor). El resto es evaporado en las torres de refrigeración.

Las mejoras en el tratamiento del agua de los sistemas de refrigeración; la reutilización del agua de proceso; los reciclados de agua; el uso de tamices moleculares y plantas de ósmosis inversa, y las plantas de tratamiento de aguas residuales y con aceites/grasas han permitido que actualmente el vertido sea mucho menor y en lugar de 18 hm³ de agua se eliminen solo del orden de 7 hm³.

Esto supone que actualmente pueda considerarse que por cada tonelada de crudo procesado se use solo 1 m³ de agua si la refinería es relativamente moderna.

1.4.2. El agua en la transformación del gas natural

Aproximadamente la mitad de las reservas de hidrocarburos conocidas en la actualidad son yacimientos de gas natural.

El gas natural que cumple con las especificaciones de transporte por gasoducto contiene todavía una pequeña proporción de agua, la cual debe eliminarse si el gas se debe someter a

un proceso de licuefacción. El transporte del gas natural licuado en este caso se lleva a cabo principalmente con buques adaptados (metaneros, como el de la figura 1.24), con características especiales.

En las plantas de licuefacción, el agua está presente tanto en la fase de pretratamiento del gas natural como en el proceso de licuación y en las unidades de servicios auxiliares. En el pretratamiento, la unidad de eliminación de gases ácidos utiliza un proceso de absorción en una mezcla disolvente de monoetanolamina (MEA) y agua. Asimismo, es necesario eliminar posteriormente el vapor de agua presente en la corriente de gas a licuar (hasta aproximadamente 1 ppm), habitualmente a través de una unidad de deshidratación con tamices moleculares activados con alúmina.



Figura 1.24. Buque metanero.
Fuente: Gas Natural Fenosa (consultado en 2016).

Por lo que se refiere al proceso de licuefacción, en la fase de diseño se analiza la selección del medio de enfriamiento de la corriente de refrigerante utilizada, que puede ser agua de mar o aire. El medio de enfriamiento (aire o agua) es utilizado en ciclo abierto para disminuir la temperatura del refrigerante, tras haber sido este sometido a la fase de compresión correspondiente (se utilizan diferentes etapas de presión e intercambiadores de calor en función de la tecnología de licuefacción elegida). Posteriormente este refrigerante será sometido a diferentes etapas de expansión con el fin de bajar su temperatura y poder enfriar la corriente de gas natural hasta unos -160 °C. Cabe destacar que, debido principalmente a restricciones ambientales y en menor medida a aspectos económicos, las plantas construidas en los últimos años emplean preferentemente ventiladores aéreos para enfriar el fluido refrigerante frente a los sistemas de enfriamiento por agua de mar.

En los procesos de regasificación utilizados normalmente, el agua es el fluido que cede calor a la corriente de gas natural licuado (GNL) para aumentar así su temperatura. Esto ocurre tanto en los diseños que utilizan ciclos abiertos (con vaporizadores *open rack* y agua de mar) como en los procesos de ciclo cerrado (vaporizadores de combustión sumergida y agua de proceso).

En los sistemas de regasificación mediante *open rack* se eleva la temperatura del gas licuado utilizando agua de mar. La necesidad de agua se cifra en 500 hm³ de agua diarios, los cuales son devueltos al medio clorados y entre 3 y 10 °C más fríos, lo que provoca un impacto ambiental negativo que podría afectar a la biodiversidad y, si es el caso, incluso llegar a adulterar las aguas dulces.

Los vaporizadores de combustión sumergidos usan agua calentada por un quemador sumergido (alimentado a gas natural). El baño de agua caliente vaporiza el GNL que circula por un circuito de acero inoxidable igualmente sumergido en la cubeta de intercambio. Los vaporizadores de combustión sumergida se suelen instalar para sustituir (en caso de avería de estos, por falta de aportación de agua o en períodos de mantenimiento) o complementar (situaciones de demanda pico) a los vaporizadores abiertos.

Por último, entre los servicios auxiliares de las plantas de licuación y regasificación están los de agua potable, agua de servicio (utilizada en la operación y mantenimiento de diferentes equipos), agua para el sistema contra incendios, y el sistema de tratamiento de aguas potencialmente contaminadas.

1.4.3. Producción de hidrógeno

En relación con la producción de hidrógeno, que emplea agua como materia prima, en la actualidad se prioriza la cantidad obtenida frente al consumo energético del proceso y, en este sentido, el proceso más empleado es la reforma de corriente de metano, conocido como proceso SMR por sus siglas en inglés *steam methane reforming*.

En esta reacción, el metano aporta hidrógeno y energía; el agua aporta solo hidrógeno. Para entender el balance energético hay que indicar que el metano contiene una energía interna superior a la de su descomposición por lo que con esa energía se puede descomponer agua; y si se hace un aporte adicional de energía se puede descomponer aún más agua hasta llegar al equilibrio de la reacción. En general se puede afirmar que la reacción es endoenergética cuando se quiere obtener una elevada producción de hidrógeno.

Aunque utilizado de manera muy residual en la industria, el hidrógeno también puede obtenerse del metano y de hidrocarburos en general, mediante procesos de oxidación parcial (POx) y reformado autotérmico (ATR). En el POx no se incorpora agua al proceso; se produce solo el hidrógeno que aporta el metano, y la reacción es exoenergética. En el ATR se aporta agua al proceso solo en la cantidad en que puede ser descompuesta por la energía liberada en la descomposición del metano; es una reacción aislada sin equilibrio energético con el exterior.

1.4.4. El agua en la producción de biocarburantes

Uno de los nexos más estudiados en los últimos años es el del agua-energía-alimentación. El tercer componente, la alimentación, implica el uso del agua principalmente para el riego agrícola. La sustitución de los cultivos alimentarios por cultivos bioenergéticos ha alterado el nexo inicial, lo que ha reducido en muchos lugares la superficie destinada a cultivos alimentarios.

La aparición de los biocombustibles líquidos como fuente de combustible para el transporte es un símbolo claro de la interacción entre el agua y la energía, aunque implique una simplificación del ciclo conjunto (nexo) del agua y la energía.

Las plantas energéticas son aquellas que se cultivan para ser utilizadas como fuente de energía y no para producir alimentos. Con ellas se elaboran combustibles de bajo impacto ecológico teórico en refinerías adaptadas (figura 1.25).

Los biocombustibles pueden ser una alternativa interesante para los agricultores, en ciertos lugares y condiciones (figura 1.26). Allí donde los biocombustibles puedan aparecer como una posible solución se requerirán plantas adaptadas a las condiciones ambientales.

Se observa que el volumen de biocombustible se estabiliza debido a que, en el año 2014, los precios de los cereales, las semillas oleaginosas y el aceite vegetal continuaron su descenso en términos nominales. Esto a su mismo tiempo y unido a la fuerte caída de los precios del petróleo crudo en la segunda mitad del año, provocó la baja de los precios mundiales del etanol y el biodiésel en un contexto de amplio suministro para ambos productos.

La biomasa también puede utilizarse en la preparación de compost (véanse figuras 1.27 y 1.28), lo que implica a su vez un aprovechamiento de la energía y que se requiere agua para controlar y gestionar las reacciones implicadas.

No debe olvidarse que la producción de biomasa representa un secuestro de material de los ciclos biogeoquímicos, material que es desplazado de su destino original y que empobrece el sistema, en especial el suelo, por lo que deben implantarse métodos de recuperación de los nutrientes. El análisis del ciclo de vida de esta sustitución requiere cálculos detallados para asegurar su sostenibilidad ambiental positiva.

Los biocombustibles o biocarburantes se han convertido en agentes mediáticos hace escasamente pocos decenios, con la idea evidente de que sustituirán parcialmente a los combustibles fósiles. La razón por la cual tienen el éxito que se les atribuye es debida a los conceptos de seguridad energética y de su hipotético papel en la reducción de gases de efecto invernadero (Hardy y Garrido, 2010). Entre los biocarburantes se encuentran el bioetanol, el biodiésel, el biogás y la biomasa en general, incluidas las algas en esta última (véanse tablas 1.12 y 1.13).

En la actualidad se está estudiando la producción de biocombustibles a partir de algas, cardos y *Jatropha*. Por otra parte, si una de las formas de almacenar energía es su acumulación en la materia vegetal, puede considerarse que determinados cultivos también pueden incluirse entre los energéticos. Este sería el caso de la producción de proteínas para alimentación animal. En la Unión Europea y en América Latina se suelen emplear soja, colza y girasol para la producción de biocombustibles.

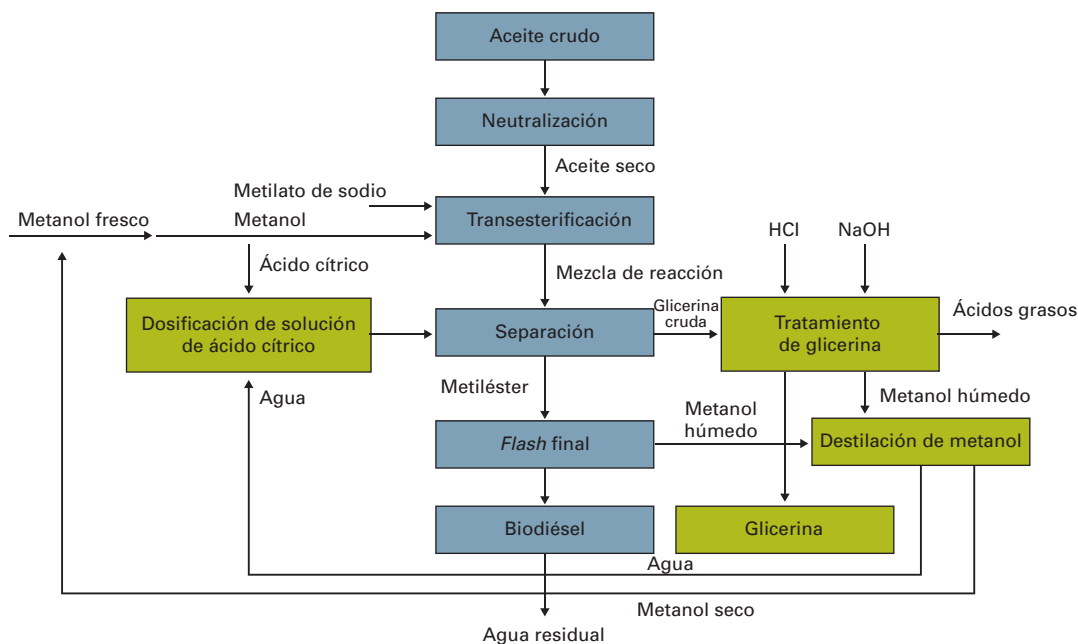


Figura 1.25. Esquema de una refinería para el pretratamiento de aceite vegetal para biodiésel.
Fuente: elaboración propia (2016).

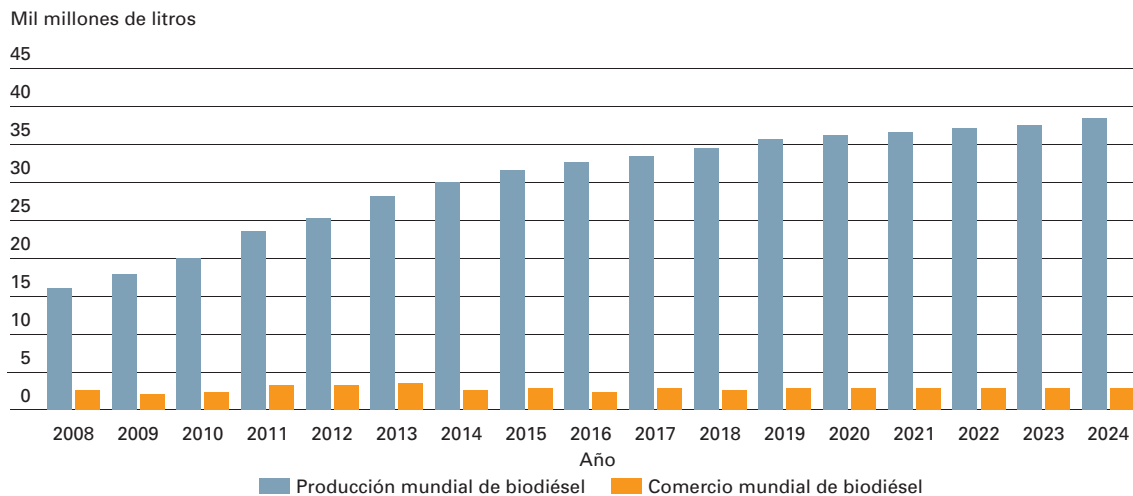


Figura 1.26. Predicciones de producción de biodiésel en el mundo.
Fuente: OECD Agriculture Outlook, OCDE/FAO (2015).



Figura 1.27. Plantación de *Populus x euramericana* para biomasa en Vall-llobrega, Girona (España).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2004).

El impacto neto o ganancia de energía del proceso completo de producción de biocombustibles es a menudo marginal o negativo. De la misma manera, el impacto positivo de los biocombustibles en las emisiones de gases de efecto invernadero es incierto, y depende no solo de la tecnología de producción sino también de cómo se lleva a cabo el análisis (Asian Development Bank/ADB, 2013).

Se puede considerar que hay una relación directa entre el crecimiento subsidiado de maíz y soja para la producción de etanol y la volatilidad de precios que causó las crisis alimentarias de 2007/2008 y de 2010/2011 y, en consecuencia, los disturbios por falta de alimentos en algunos lugares del mundo. Puesto que el mercado de la energía (medido en calorías) es



Figura 1.28. Biomasa para compostaje en Olot, Girona (España).

Fuente: Fotografía de M. Salgot (2014).

de unas veinte veces el del mercado global de alimentos, un pequeño porcentaje de sustitución de las fuentes tradicionales de energía por biocombustibles puede hacer subir los precios de los alimentos al competir por los recursos limitados de agua y en cierta manera de suelos.

Las dificultades para la gestión de bosques en ciertos países desarrollados han provocado por una parte, un aumento de los incendios (no se gestiona el sotobosque) y, por otra, la deforestación, ya que los bosques se incendian más fácilmente y no se suelen llevar a cabo prácticas de reforestación debido al bajo rendimiento que se obtiene de la madera o de los restos de poda.

Carburante	Producción, características y usos
Bioetanol	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación de materia orgánica con altos contenidos en almidón, cereales y remolacha (Europa y Estados Unidos), y caña de azúcar (Brasil). • En la UE se usa el 5% en mezclas con gasolina. • En otros países (p. ej. Brasil) se emplea un porcentaje mínimo de mezcla del 23%.
Biodiésel	<ul style="list-style-type: none"> • Éster producido en la reacción de un alcohol con aceites vegetales o grasa animal. • Utilizable en motores diésel, puro o en mezclas con gasóleo entre el 10 y el 30%. • Se permite un porcentaje de mezcla del 5% sin necesidad de etiquetaje diferenciado.
Biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Metano en un 80-92%, de degradación anaerobia de materia orgánica (depuradoras de agua residual, vertederos, residuos animales). • Combustión similar a la del gas natural (tabla 1.13). • Utilizable en vehículos de gasolina modificados, para producir electricidad y/o energía térmica, o como gas de síntesis transformado en productos de mayor valor añadido.
Biomasa de algas y macrófitas	<ul style="list-style-type: none"> • Se producen en sistemas acuáticos eutróficos. • La capacidad de producción de biomasa es mucho mayor que la de las plantas. • <i>Lemna</i> y otras algas y macrófitas contienen moléculas útiles en la industria (p. ej. colorantes) o grasas, adecuadas para la generación de biocombustibles u otros tipos de aprovechamiento.
Biomasa (otros orígenes)	<ul style="list-style-type: none"> • Se recupera biomasa excedentaria (p. ej. bosques) o procedente de incendios para ser aplicada en sistemas específicos de aprovechamiento. • <i>Gasificación</i>: proceso termoquímico en el que la biomasa es transformada en un gas combustible (conocido como <i>syngas</i>, gas de síntesis, gas pobre, gas de madera o gas de gasógeno). • El gas producido tiene poder calorífico bajo o medio (1.000-3.000 kcal/Nm³). • Se usa para producir electricidad y/o energía térmica o como <i>syngas</i> para generar productos de mayor valor añadido.
Últimos avances	<ul style="list-style-type: none"> • Hay otros carburantes con futuro prometedor; conocidos como BtL (por <i>Biomass-to-Liquid</i>) a partir de cualquier tipo de biomasa por gasificación y posterior licuefacción (proceso Fischer-Tropsch) o isomerización, “reordenamiento” de los átomos de las moléculas para asemejarlas a hidrocarburos.

Tabla 1.12. Tipos de biocarburantes.

Fuente: elaboración propia.

Puesto que en este caso la materia prima es un material biológico que sigue siendo el componente de un sistema continuo suelo-planta-atmósfera (SPAC) y que puede crecer por la presencia del agua que la planta bombea desde el suelo a la atmósfera, no hay que olvidar la incidencia del crecimiento exponencial de este recurso sobre los recursos hídricos. Los estudios sobre los recursos de agua se suelen desarrollar en cuencas, y los cultivos de generación de biomasa tienen ciertamente una influencia sobre los flujos de agua en la cuenca. Teóricamente una mayor cobertura de vegetación debería reducir el volumen de agua en la desembocadura de la cuenca, pero no hay que olvidar la relación de la vegetación con el suelo, que

	2013				2014*			
	Vertedero	Aguas residuales ¹	Biogás anaeróbico ²	Total	Vertedero	Aguas residuales ¹	Biogás anaeróbico ²	Total
España	193,5	162,1	123,8	479,4	158,5	111,6	83,1	353,3
Unión Europea	2.820,1	1.385,7	9.741,3	13.947,1	2.740,0	1.367,3	10.755,1	14.862,4

1) Urbano e industrial.
2) Planta agrícola descentralizada, planta de metanización de residuos sólidos municipales, planta de codigestión centralizada.
* Estimación.

Tabla 1.13. Producción de energía primaria a partir de biogás (en ktep) en la Unión Europea en los años 2013 y 2014.

Fuente: EurObserv'ER barometers (2015).

puede ganar capacidad de retención al tener más materia orgánica. En todo caso, de la cuenta se exporta materia orgánica, nutrientes y agua, con lo que se reducen los cultivos alimentarios. La discusión sobre este tema está lejos de haber acabado.

1.5. El agua en el almacenamiento de la energía

Uno de los principales retos actuales del sector energético es el almacenamiento de electricidad. A diferencia de lo que ocurre con los combustibles (gas natural, petróleo o carbón), todavía no existe una capacidad importante de almacenar a gran escala la electricidad con precios y rendimientos razonables. Esta incapacidad obliga teóricamente a consumir la electricidad en el mismo momento que se genera. No obstante, el sistema está diseñado de manera que las redes eléctricas bien gestionadas son capaces de proceder a conectar y desconectar fuentes para optimizar el proceso.

El problema se complica cuando se trata de sistemas de generación discontinuos, como son la energía solar o eólica: no se puede almacenar la electricidad generada en los momentos en que se dispone de sol o viento para usarla por la noche o en momentos sin viento, lo que

obliga a disponer de sistemas de *backup* o apoyo para poder cubrir la demanda, lo que representa costes y complejidad en la operación de las redes de transporte y distribución.

Prácticamente el sistema viable de almacenaje de energía a gran escala y con rendimientos aceptables es mediante el agua, siempre que se consiga que esta gane altura con sistemas de embalse reversibles. De este modo se acumula energía que posteriormente puede mover turbinas que efectúan la retransformación a energía eléctrica (véase apartado siguiente). A pequeña escala se puede almacenar una cierta cantidad de energía en los acumuladores domésticos de agua caliente o similar, que tienen una cierta inercia térmica.

A escala planetaria, las “anomalías” del agua como molécula hacen que en los procesos de fusión y congelación (y sus inversos) entre en juego una gran cantidad de energía, lo que podría ser también una posibilidad de almacenaje, que se está investigando actualmente para usarla a pequeña escala. Estos cambios de fase también se estudian con otras sustancias y se han comentado con anterioridad en este mismo capítulo.

Hay que recordar que la energía tiende a disiparse, es decir, a perder calidad con el tiempo. Por ello se requieren sistemas de almacenaje aislados de influencias externas por lo que respecta a la temperatura. Un buen ejemplo de aplicación empírica de esta práctica son los antiguos pozos de hielo o de nieve y actualmente los sistemas de almacenaje subterráneos con materiales sólidos.

La antigua tecnología de almacenaje a largo plazo de hielo o nieve se basaba en compactar la materia prima nieve o hielo (se reducía el aire intersticial, cambiaba la forma de cristalización) para reducir su capacidad de fusión y aislarla del exterior.

Esto se conseguía mediante construcciones de piedra en zonas de sombra (laderas con poco sol, bosques densos), enterradas para aprovechar la inercia térmica de suelo y subsuelo y localizadas en zonas con temperaturas bajas (Sierra Nevada, Pirineos y otras zonas de montaña). En invierno se aprovechaba la nieve o se producía hielo y se introducía en la construcción, apelmazándolo y haciendo capas aisladas unas de otras con materiales naturales (hierba, ramas, telas vegetales, suelo compactado). Las construcciones se fueron sofisticando e incluían cúpulas con aire, accesos por diversos puntos mediante pasillos con recodos, etc.

Estas instalaciones suministraron hielo a ciudades hasta bien entrado el siglo XX (véanse figuras 1.29 a 1.31).

Las tecnologías actuales de almacenaje energético en suelos o formaciones geológicas emplean tecnologías de aislamiento similares.



Figura 1.29. Pozo para conservar nieve. Sierra Nevada, Granada (España).
Fuente: Fotografía de R. Mantecón (2012).

1.5.1. Los embalses reversibles

Las centrales hidráulicas de bombeo o centrales hidroeléctricas reversibles (véase figura 1.8) son un tipo de central con la capacidad de almacenar energía mediante el bombeo de agua, curso arriba, a una posición situada a mayor altura. El fundamento básico es el almacenamiento de la energía potencial del agua embalsada situada a una cierta altura por encima de otra inferior. Las bombas utilizan electricidad, relativamente barata o en exceso, de la red durante las horas de bajo consumo con el objetivo de desplazar el agua desde el embalse inferior al superior.



Figura 1.30. Interior de un pozo de hielo. Poblet, Tarragona (España).

Fuente: Fotografía de M. Salgot (2006).

En los embalses reversibles se suponen las pérdidas habituales de cualquier sistema de almacenaje de agua: la evaporación en las superficies de agua libre, las filtraciones en el vaso de las presas y también hay que plantear los posibles usos alternativos (pesca, deportes acuáticos, turismo rural asociado) del agua embalsada.

La limitación principal es la transformación relacionada con la recuperación de energía, que precisa un doble cambio de energía potencial a cinética y de cinética a eléctrica (Morante, 2014).

Actualmente, las centrales hidroeléctricas reversibles representan, con diferencia, la mayor capacidad de almacenamiento de energía en red, con más del 99% de la capacidad a escala



Figura 1.31. Acceso inferior a un pozo de hielo. Poblet, Tarragona (España).
Fuente: Fotografía de J.L. de la Peña (2006).

mundial (Kaldellis y Zaftrakism, 2007, en Morante, 2014). En los últimos años el creciente interés por el almacenamiento de energía, especialmente útil para la integración de las fuentes de energía renovables, ha reavivado el desarrollo de proyectos de estaciones hidráulicas de bombeo. En Japón hay un caso en que se utiliza una variante con el mar como depósito inferior de almacenamiento de agua.

Asimismo se han construido pequeñas plantas de bombeo a partir de infraestructuras existentes en canales. Actualmente se está explorando la posibilidad de aprovechar los pequeños desniveles presentes en canales (por ejemplo de navegación para hacer descender o elevar barcos) dotados de esclusas, para su aprovechamiento como plantas de bombeo de agua y para minimizar su consumo. Dichas plantas presentan una capacidad de almacenamiento entre 2 y hasta 30 GWh en algún caso. El hecho de que los diques e instalaciones compatibles con altas presiones hidráulicas ya existan en estas esclusas rebaja mucho el coste de instalación de plantas de bombeo en estos emplazamientos.

En Alemania también se está potenciando el uso de pequeñas instalaciones, por ejemplo en el elevador de barcos de Scharnebeck, en Lüneburg (Baja Sajonia), como el ejemplo más representativo, con una capacidad de almacenamiento de 25 MWh.

En lo que atañe al rendimiento, la eficiencia energética del ciclo de bombeo en plantas con nuevos diseños tiene una eficiencia que supera el 80%.

1.5.2. El agua como almacén de calor

La estructura del agua depende de su estado físico o fase: gaseoso, sólido o líquido. El estado gaseoso (vapor) corresponde exactamente a la fórmula H_2O , pero los estados condensados (agua y hielo) tienen una estructura más compleja, lo que explica las propiedades atípicas de los conjuntos de moléculas de agua.

En el contexto de la relación agua-energía, son importantes las propiedades térmicas del agua:

- *Capacidad térmica másica (o calor másico)*: es muy elevada para un líquido, y es de 4,18 $\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$; esto corresponde a 1 $\text{kcal}\cdot(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$ en unidades antiguas y varía con la temperatura.

- *Entalpías (o calores latentes) de fusión y de evaporación:* las entalpías de transformación son para la fusión de $334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ y para la evaporación de $2.259 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a presión normal y a $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Esto implica que, en la Tierra, una parte importante de la energía se acumule en la atmósfera e hidrosfera mediante los cambios de fase del agua.

1.6. El agua en el transporte y distribución de la energía

Se considera que la navegación es el medio de transporte más barato y eficiente para grandes distancias en la actualidad, ya sea en medio marino o fluvial.

En relación con la energía, se utiliza la navegación (marítima y fluvial) para:

- transporte de carbón y de petróleo (vía marítima y fluvial);
- transporte de madera y otros productos vegetales para generación de biocombustibles.

También se puede asociar agua y transporte de energía en los oleoductos submarinos.

En consecuencia, el agua sirve:

- de base para la navegación;
- de matriz donde se sitúa el sistema de transporte (oleoducto);
- para transportar diferentes fuentes de energía.

Una parte importante de los movimientos de petróleo y gas se realizan mediante petroleros o con metaneros que transportan gas licuado, como se ha descrito anteriormente. Sus rutas son consideradas estratégicas y su capacidad depende a menudo de las rutas que empleen. El paso por el canal de Panamá (antiguo o ampliado) o por el canal de Suez limita el tamaño de los buques. Los denominados superpetroleros servían las rutas (por el sur de África, por ejemplo) que no pasaban por los canales cuando el canal de Suez estuvo cerrado a la navegación durante un tiempo.

Los ríos, y las corrientes de agua en general, así como el mar y sus movimientos son un sistema de distribución de energía a escala global, que puede o no aprovecharse mediante diver-

tos artilugios o instalaciones (molinos movidos por agua, embalses, centrales hidroeléctricas, barcos, etc.).

Los puertos españoles se encuentran, según los datos del transporte marítimo portuario al cierre de 2014, en niveles anteriores a la crisis, con un movimiento de 482.030.313 toneladas tanto de graneles sólidos como de derivados del petróleo, sumando transporte nacional e internacional.

1.7. Conclusiones

En este capítulo se ha analizado la implicación del agua en el sector energético. Se pueden deducir las siguientes ideas básicas:

- Es necesaria la colaboración de todas las administraciones, industria y otras partes interesadas en materia de planificación integrada de los recursos hídricos y energéticos y sus tecnologías relacionadas. Esto permitiría garantizar políticas coherentes.
- Deben elegirse correctamente las tecnologías eficientes en el uso de recursos hídricos y energéticos. Las tecnologías a elegir (en especial la *mejor tecnología disponible*) dependen de la situación local y de los recursos disponibles. Aquí se incluyen los electrodomésticos de bajo consumo, los riegos eficientes, alcantarillados descentralizados, las tecnologías de la información y de la comunicación o TIC, gestión de las aguas pluviales, recuperación de nutrientes...
- Hay que extender y acelerar la transferencia de tecnología con recursos financieros adecuados y oportunidades de inversión. Las plataformas de innovación tecnológica son básicas y hay que comprender los obstáculos que existen para el desarrollo y transferencia de tecnología y una integración de las políticas de agua y energía.
- Hay que crear alianzas. Es preciso desarrollar plataformas en las que participen activamente las empresas públicas y privadas. Los sistemas de innovación abierta alientan la participación pública y de las partes interesadas. La cooperación nacional e internacional crea sinergias en el desarrollo de tecnologías eficientes y de baja emisión de carbono.
- Se deben fomentar las innovaciones. Las innovaciones tecnológicas, en particular en relación con las energías renovables, pueden aumentar la disponibilidad de recursos median-

te el ahorro y la mejora de la calidad del agua. Debe diversificarse la matriz energética en favor de la energía renovable y las tecnologías de baja emisión de carbono.

- Es preciso impulsar capacidades, especialmente en los países en desarrollo.
- Hay que disponer de técnicas de análisis que garanticen que las soluciones son realmente útiles desde el punto de vista ambiental, y de buena gestión de agua y energía.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - UNEP define la iniciativa marco del agua para la energía (W4EF) con un objetivo principal, que consiste en elaborar un marco adecuado para las empresas energéticas con el fin de evaluar su uso del agua y los impactos asociados. Se desarrollará un enfoque global de la huella hídrica de la producción de energía. Esto permitirá diferenciar entre extracción de agua, consumo de agua y consumo neto de agua, así como el cálculo de los diferentes tipos de interacciones entre una actividad y su entorno hídrico.

El supuesto es que los marcos e iniciativas existentes no cumplen con las necesidades del sector energético. Después de un acuerdo sobre el marco y su validación, se desarrollará una herramienta para ayudar a implementar la metodología de una manera consistente y garantizar una amplia difusión a través de la industria europea de la energía y no tan solo ella.

Por otra parte, se destaca la necesidad de hacer un mayor uso de instrumentos económicos, especialmente los que ayuden a poner de relieve el coste real de los servicios de agua y energía, incluyendo las huellas respectivas. Así:

- Los mercados de agua y energía con las medidas reglamentarias de eficiencia.
- Los pagos por servicios ambientales para reducir la sedimentación después de presas y otras infraestructuras. Incluye el servicio de gestión de excesos de agua (inundaciones) importante para la seguridad energética y de las personas, y la mejora de la eficiencia.
- Asignación de diferentes precios de agua a los diferentes usos según los valores ambientales, sociales o económicos.
- Transparencia en precios e inversiones.

Se requieren políticas que desacoplen el crecimiento económico del consumo de agua y energía, y que promuevan la eficiencia de los usos de ambas. Se debe considerar y comprender el nexo agua-energía-alimentos. Las políticas necesarias incluyen:

- Sensibilizar a los consumidores sobre la eficiencia de uso del agua y la energía.
- Aplicar una planificación integrada y eficiente.
- Mejorar la transparencia y disponibilidad de datos e investigación de la situación y tendencias de eficiencia.
- Favorecer reformas institucionales para mejorar la eficiencia en asignación de recursos y en los patrones de uso de energía (el medio ambiente es un usuario legítimo del agua).
- Impulsar reformas fiscales para tener precios equitativos y evitar subsidios perversos.
- Invertir en ciencia, tecnología e innovación.
- Mejorar la coordinación entre el agua y el uso de otros recursos (energía, suelo, recursos materiales).
- Aumentar la conciencia y la formación sobre estrategias y decidir cuál es la más adecuada en términos de coste-beneficio.

Como herramientas se citan el análisis del ciclo de vida (ACV), la evaluación ambiental estratégica, la valorización económica y la evaluación de recursos, entre otras.

En cuanto al desarrollo tecnológico se pueden mencionar diferentes medidas:

- técnicas de riego eficientes;
- reducción de las fugas de agua;
- transmisión de energía eficiente;
- eficiencia energética e hídrica en el suministro y saneamiento;
- tecnología de producción de energía eficiente;
- gestión eficiente del agua en empresas energéticas.

2.

El papel de la energía en el ciclo del agua

La energía en el ciclo del agua se puede considerar desde dos puntos de vista: el del *ciclo natural*, en que se llevan a cabo los procesos de evaporación, condensación, precipitación y filtración (figura 2.1), o el del *ciclo antrópico* en la ciudad (figura 2.2) y en la agricultura (figura 2.3), entre otros ámbitos. El ciclo antrópico desvía la energía del ciclo natural para ser transformada en una parte importante en electricidad. En todos estos ciclos, la energía está incorporada al agua o se aporta a la misma.



Figura 2.1. Ciclo natural del agua.
Fuente: elaboración propia (2016).

El ciclo integral del agua

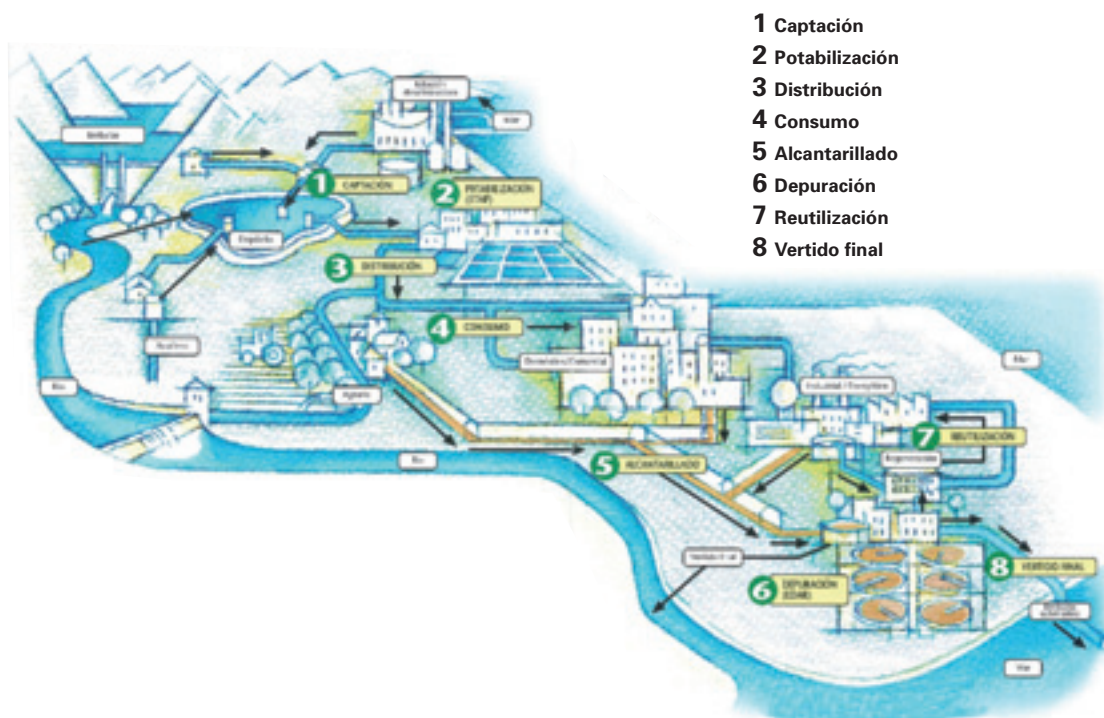


Figura 2.2. Esquema de ciclo antrópico del agua en la ciudad.
Fuente: Gas Natural Fenosa (2016).

La energía en el ciclo natural del agua

La energía que incide en el ciclo natural del agua procede de la radiación del Sol o de la energía interior de la Tierra en zonas volcánicas (figuras 2.4 y 2.5). También hay que citar la energía gravitatoria como consecuencia de la influencia del Sol y la Luna en la Tierra. Ocasionalmente, las perturbaciones geológicas (movimientos de placas) también pueden transmitir energía al agua mediante los terremotos que, cuando tienen su epicentro en el mar, generan tsunamis.

En el primer caso, el más importante y constante, la radiación llega en cantidades diferentes a la superficie terrestre según la latitud, lo que crea diferencias de temperatura y en conse-

2. El papel de la energía en el ciclo del agua

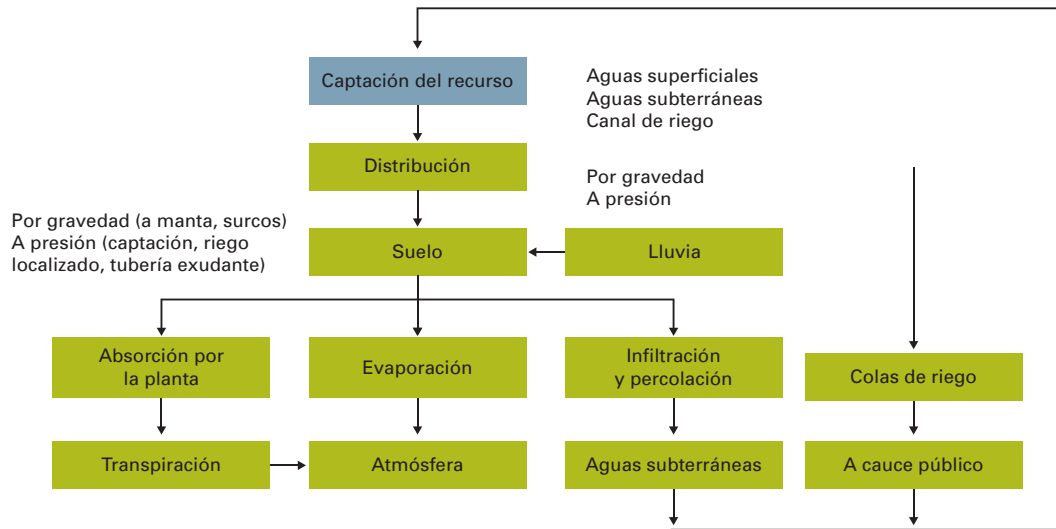


Figura 2.3. Esquema del ciclo antrópico del agua en la agricultura.

Fuente: elaboración propia (2016).

cuencia vientos, que tienden a homogeneizar la temperatura en la superficie del planeta. El movimiento de las masas de aire y las fuerzas gravitacionales generan olas, corrientes y mareas, que transfieren energía al agua. La temperatura de la atmósfera hace que el agua modifique su propia temperatura y finalmente puede causar un cambio de fase (sólida, líquida o gaseosa). El agua en fase gaseosa circula por la atmósfera y, según las circunstancias climáticas precipita en diversas formas: lluvia, nieve, rocío, etc.

Las precipitaciones llegan a la superficie de la Tierra y siguen la línea de pendiente, se infiltran y percolan, alimentando los ríos y los acuíferos. Durante este ciclo natural del agua, parte de esta se desvía artificialmente al ciclo antrópico, generando energía o consumiéndola, y una parte se disipa con la pérdida de altura del agua.

Para generar energía aprovechando el ciclo natural, se emplea la caída de agua, natural o la que ha sido almacenada en embalses, o se desvía parte del caudal mediante grandes o pequeñas presas, azudes u otras instalaciones capaces de generar energía hidroeléctrica en grandes cantidades (como Niágara, entre Estados Unidos y Canadá, o Itaipú, entre Brasil y Paraguay, entre otras) o para sistemas más pequeños (mini y microcentrales). Inicialmente, las



Figura 2.4. El volcán Etna, en Sicilia (Italia).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2015).

pequeñas instalaciones se construyeron asociadas a instalaciones industriales (por ejemplo, las colonias de la cuenca del río Llobregat, en España) aunque en muchos casos la actividad industrial ha cesado y solo se mantiene la pequeña central hidroeléctrica.

La energía acumulada en altura también se disipa al descender el agua naturalmente en las cuencas de los ríos. Esta energía es la que permite el arrastre de materiales (erosión) desde la parte alta de las cuencas hasta el mar. Este fenómeno provoca además el aterramiento de los embalses, con la consiguiente pérdida de capacidad de almacenaje de agua y de producir energía.



Figura 2.5. Fumarolas en el Parque Nacional Rincón de la Vieja (Costa Rica).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2006).

Por otra parte, cuando el agua se acumula y alcanza profundidades importantes en lagos y océanos, se producen diferencias importantes de temperatura entre las aguas superficiales y las profundas. Estas diferencias también pueden ser una fuente de energía.

Se puede indicar que el ciclo natural del agua acumula o pierde energía en diversas formas y de manera no homogénea (se degrada); una parte de esta energía es o puede ser recuperada o aprovechada para la generación de energía utilizable (final) por la sociedad.

Las mareas se producen por la influencia combinada de las atracciones gravitatorias del Sol y la Luna. La energía implicada en este proceso es importante y en determinadas circunstancias geográficas y técnicas puede aprovecharse, tal como se indica en el apartado 1.3.1.3 del capítulo 1.

El vulcanismo implica grandes cantidades de energía que pueden o no emerger a la superficie, y que generan energía de forma puntual relacionada con el agua indirectamente (erupciones submarinas, reducción de la energía solar en erupciones superficiales) o más directamente transfiriendo calor a aguas subterráneas (véase apartado 1.3.1.2 en el capítulo 1).

Respecto a los movimientos de placas que generan energía mediante los terremotos, esta puede transferirse al agua de mar y generar tsunamis. Evidentemente no son útiles para captar energía, pero sí pueden incidir de forma negativa en las infraestructuras de agua y energía.

La energía en el ciclo antrópico

El agua del ciclo antrópico se extrae del ciclo natural: se transporta, trata y se utiliza para finalmente recuperarla en parte y verterla, en ocasiones después de un tratamiento (figura 2.2). Todo este proceso no se hace necesariamente en el orden indicado, y en los diversos pasos se requiere o genera energía en distintas formas.

El uso de energía en las instalaciones relacionadas con el ciclo antrópico del agua es significativo y representa un 20% del consumo total de energía en la sociedad española. En el siglo XXI, en un contexto de energía cara, hay diversas iniciativas para reducir el consumo energético en el ciclo antrópico del agua y se estudian las posibilidades de recuperación energética en diversas fases del ciclo. Las iniciativas más avanzadas se dan actualmente en relación con las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) (véase el Caso 3 del capítulo 3).

La demanda creciente de agua en la sociedad actual tiene una incidencia directa en el consumo de energía. Determinadas actuaciones en el campo del agua incrementan el consumo mientras que otras lo hacen disminuir (tabla 2.1). Sin embargo, es difícil establecer una relación causa-efecto en la mayor parte de casos.

La fijación o captura de carbono puede hacer aumentar el consumo de agua, en la producción de biomasa o en las tecnologías de transformación de carbón a líquido. La biomasa se está empleando actualmente para generar combustibles para el transporte y calefacción, como alternativa al petróleo (véase apartado 1.3.2.4, dedicado a la biomasa en capítulo 1), pero su viabilidad también está en cuestión.

Los combustibles alternativos son normalmente intensivos en el empleo de carbono y agua. Su fabricación emite dos veces más gases de efecto invernadero que la destilación convencional de gasolina o diésel, ya que se emplea una cantidad considerable de agua para enfriar las corrientes de proceso, para alimentar las calderas de vapor y para la licuefacción.

2. El papel de la energía en el ciclo del agua

Aumenta(n)/rá(n)	A escala mundial, el suministro de agua potable y sus requerimientos de calidad (no obstante, en muchos lugares –especialmente en zonas áridas– disminuirá el consumo por habitante y día) que se consiguen con el aumento del uso de energía.
	El saneamiento y la depuración de agua residual (más redes de saneamiento y depuradoras) con mayor consumo de energía en la mayor parte de ocasiones. Se instalarán más sistemas naturales de depuración (reducción comparativa de consumo de energía).
	La desalinización (gran consumo de energía) de aguas salinas y salobres para usos urbanos (potables) y agricultura.
	El uso de recursos de agua no convencionales (regenerada, gris, de escorrentía) para usos diversos, empleando energía para mejorar su calidad.
	La calidad del agua de bebida (por ley), con el incremento del uso de energía para mejorar sus características en relación con: <ul style="list-style-type: none"> • microbiología; • nutrientes; • microcontaminantes orgánicos; • contaminantes químicos inorgánicos.
	El descenso de los niveles de las aguas subterráneas, que requerirá mayor energía para el bombeo.
Disminuye(n)/nuirá(n)	El consumo de energía por unidad de agua tratada según: <ul style="list-style-type: none"> • mejora de la eficiencia energética de las tecnologías de tratamiento y uso del agua (tecnologías de desalinización, eliminación de microcontaminantes y nutrientes, etc.); • mejora de la eficiencia energética de los aparatos domésticos (lavadoras, lavavajillas, calentadores de agua, etc.).
	Tecnologías de recuperación de energía en las instalaciones.
	Se reducen las pérdidas en distribución al mejorar la gestión energética y de calidad de las redes (programas de optimización).
	Puede haber reducciones de consumo asociadas al empobrecimiento de parte de la población (pobreza de agua).
	El uso/consumo doméstico de agua mediante el pago por tramos de consumo, la concienciación mediante propaganda, la sustitución por otros recursos, etc., lo que conlleva una reducción del consumo de energía.
	La calidad media del agua, por causas diversas (salinización, uso intensivo, microcontaminantes no tratables, etc.), lo que implica mayor gasto de energía para el tratamiento.
Los grandes movimientos de agua (principalmente trasvases) al mejorar la gestión y utilizar mejor los recursos locales (aguas subterráneas, precipitaciones, aguas regeneradas, etc.) con la reducción asociada de uso de energía.	

Tabla 2.1. Usos del agua, tendencias actuales y futuras en relación con la energía.

Fuente: elaboración propia.

Entre las medidas que las instalaciones urbanas e industriales pueden implantar para mejorar sus rendimientos, se indican la promoción del ahorro de agua para ahorrar energía y viceversa, y considerar el agua residual (véase apartado 1.3.2.5 de capítulo 1) no como un flujo de residuos sino como un recurso a partir del cual se puede generar energía, lo que era impensable hace tan solo un decenio.

El resultado global es, no obstante, un aumento del uso de la energía debido al incremento de usuarios y del nivel de vida, asociado este último a un mayor uso de agua (electrodomésticos, jardines, ocio, etc.) tanto individual como familiar.

2.1. Captación

2.1.1. La energía para la extracción del agua

Se emplea energía para obtener agua de los cuerpos existentes (ríos, lagos, mar, acuíferos) ya sea para la extracción en sí, o para construir los sistemas de extracción.

En la construcción de pozos y galerías, se emplea agua para facilitar la perforación, aunque en cantidades relativamente reducidas, y el consumo principal es de electricidad o gasóleo para la perforación. No obstante, la mayor relación del agua subterránea con la energía es la extracción de líquido una vez construidos los sistemas de extracción.

La profundidad de los acuíferos es variable, desde prácticamente la superficie hasta centenares de metros de profundidad. Obviamente, la cantidad de energía necesaria variará en función de la profundidad de la capa freática. En ocasiones, en vez de emplear pozos, se recurre a galerías para la captación de agua en zonas en las que el acuífero está relativamente cerca de la superficie, con lo que la necesidad de energía de bombeo es menor o nula. Esta última tecnología es conocida desde hace muchos siglos y proviene de Persia a través de las civilizaciones árabes, y a través de España alcanzó América Latina. Se trata de las *foggaras* o *qanats* (figura 2.6), entre otras denominaciones; son las minas o galerías con las que se extrae agua de los acuíferos y se transporta hasta la zona de uso. Pueden tener desde unas decenas de metros hasta kilómetros de longitud. En superficie se aprecian los pozos de extracción de materiales espaciados regularmente.



Figura 2.6. Qanats en Marruecos.
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2011).

En los pozos verticales se emplean sistemas de bombeo, para elevar el agua y transportarla hasta los puntos de uso o hasta los sistemas de tratamiento (potabilización, filtración para riego, etc.). También es usual su empleo para dar presión a las redes de distribución. Algunas veces, se pueden emplear sistemas de energía renovable para los procesos de impulsión del agua. En estos casos (tales como molinos de viento y energía solar, entre otros), la fuente de energía se suele situar en las cercanías del punto de impulsión.

2.1.2. La energía para perforar: pozos o galerías

El agua subterránea puede explotarse de varias formas, ya sea aprovechando las fuentes o surgencias naturales, o construyendo pozos o galerías. En el segundo caso es necesario emplear energía para la construcción de las infraestructuras de extracción y posteriormente para elevar el agua, si no se puede transportar por gravedad.

Las técnicas de construcción han evolucionado desde la excavación vertical con mano de obra hasta la perforación con maquinaria adecuada para cada tipo de subsuelo. Las galerías o minas de agua, poco utilizadas en la actualidad, también requieren mucho trabajo manual.

Las máquinas de perforación son muy variadas y pueden emplear también agua para la construcción, en forma de lodos que tienen la misión de impermeabilizar el terreno según avanza la perforación, refrigerar los útiles de perforación, y arrastrar hasta superficie los ripios (trozos de roca generados en la excavación). La energía que emplean las perforadoras procede de motores de combustión diésel (motores del camión que transporta la perforadora o de las perforadoras autónomas) o de motores eléctricos.

2.1.3. La energía para captar el agua

Existen diversas tecnologías para mover agua; desde los artefactos más antiguos y simples como el cigoñal o *shaduf* (Mesopotamia, entre 2500 y 3000 a. C.) (véase figura 2.7) hasta las más sofisticadas, sin olvidar los sistemas clásicos como los molinos de viento o los tornillos de Arquímedes (figura 2.8). Tradicionalmente no se ha prestado demasiada atención al papel de los sistemas naturales de conducción de agua, como los ríos o las aguas subterráneas para substituir las conducciones forzadas o los canales abiertos como método de ahorro tanto de agua como de energía. En los últimos años se plantea substituir las conducciones abiertas (canales), en las que se disipa energía con la pérdida de altura y se evapora agua, por conducciones cerradas en las que se aprovecha la energía cinética con minicentrales hidráulicas y en las que no hay pérdidas a la atmósfera.

En todo caso, no hay que olvidar que la manera más eficiente energéticamente para mover el agua es aprovechar la fuerza de la gravedad.

Molinos de viento

Un molino es un artefacto o máquina que sirve para moler utilizando una energía: la fuerza humana o animal, del viento o del agua, un motor térmico o uno eléctrico.

El mecanismo de molienda de los molinos constaba de una piedra circular fija (solera), que podía llegar a tener un diámetro superior a 8,50 m y de 80 a 120 cm de espesor sobre la que se movía otra de forma semejante (volandera) o más pequeña, de forma troncocónica, que al girar seguía la forma de la solera (muela).

Un sistema de molienda usado en Europa desde el siglo XI utilizaba martillos, que se movían con las mismas energías que los anteriores pasando del movimiento rotativo al alternativo mediante un árbol de levas.



Figura 2.7. Shaduf.

Fuente: Bazza *et al.* (en prensa).

En España, el molino de viento clásico tiene una estructura de piedra de forma cilíndrica o troncocónica, de base circular, en la que se apoya una parte superior independiente, que sostiene las aspas que transforman la energía del viento en energía mecánica (movimiento) y sirve de cubierta. Esta parte superior puede girar sobre el tambor de piedra para orientar las aspas según la dirección del viento, mediante un largo madero (gobierno) fijo a la cubierta y exterior al edificio, que se puede amarrar a unos hitos anclados al suelo.

En la parte superior del edificio, bajo la cubierta, hay ventanucos para que, durante su uso, el molinero notara los cambios de dirección del viento y en consecuencia pudiera cambiar, con el gobierno, la orientación de las aspas como mejor convenía.

En otros países, a veces, la estructura era de madera, mucho más ligera y se movía completa para orientar las aspas. Lógicamente la solera permanecía quieta respecto al suelo.

Las aspas mueven un engranaje (linterna) –que engrana con una rueda horizontal (catalina)– y transmiten el movimiento del eje de las aspas a un eje vertical, que mueve la volandera.

Sobre las aspas se disponían unas lonas para recibir el viento, que se retiraban cuando no era necesario el movimiento, con lo que se evitaba el uso de los mecanismos, que eran generalmente de madera y, por tanto, muy propensos al desgaste. En otros molinos no hay aspas propiamente, sino solo lonas, en forma de vela triangular, que se enrollan en el palo del aspa.

Tornillo de Arquímedes

El tornillo de Arquímedes se implantó inicialmente en sistemas de irrigación y para extraer agua de minas u otros lugares poco accesibles. Esta máquina sigue siendo empleada para elevar agua a poca altura en un gran número de instalaciones tanto de aguas potables como residuales (figura 2.8).



Figura 2.8. Tornillo de Arquímedes.
Fuente: Fotografía de A. Angelakis (2015).

Rueda hidráulica: la noria

La rueda hidráulica o sígala está constituida por una serie de palas dispuestas en forma de rueda; genera energía al caer el agua contra las palas y las impulsa haciendo que la rueda se mueva. Un tipo de rueda hidráulica es la noria (figura 2.9).

Con el paso de los siglos se fueron implantando diversas modificaciones de las ruedas hidráulicas hasta que, finalmente, llegaron a alcanzar una potencia máxima de 50 CV.

Algunas instalaciones se han conservado hasta nuestros días o se han recuperado a partir de descripciones existentes.



Figura 2.9. Noria, en Lleida (España).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2011).

Bombas

Históricamente, las bombas han evolucionado desde las primitivas a las actuales con gran cantidad de tecnología incorporada.

Las bombas utilizan energía para mover el agua. Existen diversos tipos de bombas: manuales, centrífugas, de flujo axial o de chorro, entre otras, aunque se limita la explicación a dos tipos de los más comunes.

- La bomba *manual* utiliza la fuerza a través de un cilindro con un émbolo en la parte superior para aspirar y sacar el agua a través de válvulas (figura 2.10). Fue inventada por Ctesibio de Alejandría (Egipto, siglo III a. C).
- La bomba *centrífuga* es impulsada por un motor, con un funcionamiento interno que crea succión para extraer el agua (figura 2.11). Fue inventada a finales del siglo XVII por Denis Papin. En 1698, Thomas Avery inventó una bomba que funcionaba con vapor para crear un vacío y poder extraer agua.

Habitualmente, las bombas son los mayores usuarios de energía en una planta de tratamiento de aguas. El bombeo del agua sin tratar y del agua tratada representa el 80% del total del consumo de la instalación. En consecuencia es importante mantener condiciones óptimas de operación de las bombas para conseguir una eficiencia energética máxima en las plantas (He y Barnett, 2014).



Figura 2.10. Bomba de mano para agua. Mertola (Portugal).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2008).



Figura 2.11. Bomba centrífuga de eje vertical multietapa. Olot (Girona).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2015).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se emplea en relación con el agua para alimentar instalaciones de bombeo para riego, agua potable en zonas rurales y abrevaderos; e incluso es la fuente de energía para sistemas de desalinización de agua. Se considera que tiene costes reducidos de operación y mantenimiento en comparación con los sistemas de bombeo convencionales con motores de combustión interna.

Para la captación de la energía se emplean paneles, que suministran corriente continua que para determinados usos debe convertirse en alterna. Para mejorar la eficiencia de los paneles (hasta un 30%), se pueden emplear seguidores solares, que orientan los paneles de manera que se optimiza la recepción de la luz del Sol.

La producción de células fotovoltaicas requiere energía, y se estima que un módulo fotovoltaico debe trabajar alrededor de dos a tres años, según su tecnología, para obtener la energía que fue necesaria para su producción (módulo de retorno de energía).

Los fabricantes de paneles y celdas utilizan una gran cantidad de agua para diversos fines, que incluyen la refrigeración, los procesos químicos y el control de la contaminación del aire. No obstante, el mayor uso de agua es para la limpieza de la instalación. Los proyectos

a escala comercial en un rango de 230 a 550 MW pueden requerir hasta 1.500 millones de litros de agua para controlar el polvo durante la construcción y otros 26 millones de litros al año para el lavado de los paneles en operación. Sin embargo, la cantidad de agua utilizada para producir, instalar y operar los paneles fotovoltaicos es significativamente menor que la necesaria para enfriar las plantas termoeléctricas alimentadas por energía fósil y de fusión.

2.2. Tratamientos

Los procesos de potabilización son físicos o químicos prácticamente en todos los casos, mientras que en la depuración se suelen emplear casi siempre los procesos de tipo biológico. Si el agua no está destinada a usos urbanos, los tratamientos anteriores y posteriores al uso dependerán de para qué se emplee o se haya empleado el agua.

En el primer caso se recurre a la adición de reactivos y a las barreras tipo membrana, aparte de los filtros de todo tipo. El rendimiento de estas tecnologías suele ser elevado, lo que garantiza la calidad deseada del agua y por tanto son las tecnologías de elección en procesos de potabilización. Sin embargo, para la depuración de las aguas residuales, especialmente las domésticas, las tecnologías son de tipo biológico, que garantiza una buena relación coste-eficiencia.

En este contexto, la elección para grandes poblaciones se hace con los siguientes criterios:

- a) En potabilización: instalaciones denominadas duras, intensivas, con combinaciones de diversas tecnologías. Cada una de ellas constituye una barrera. Cuanto mayor es la contaminación más se debe invertir en tecnología. Algunos tratamientos son realmente intensivos en cuanto al uso de energía (por ejemplo, la ozonización). En cuencas o lugares con pocos recursos de agua o cuando son de mala calidad, se recurre a la desalinización de agua de mar o salobre mediante ósmosis (inversa, directa) o electrodiálisis reversible, etc. Ocupan comparativamente poco espacio por metro cúbico tratado.
- b) En depuración: instalaciones denominadas duras, intensivas, con relativamente pocas tecnologías basadas principalmente en los lodos activados, de diversos tipos. También se puede afirmar que ocupan un espacio reducido por metro cúbico tratado. Ocasionalmen-

te, para tratamientos más avanzados o terciarios se puede recurrir a tecnologías de afinado de tipo extensivo –los denominados sistemas naturales– para el tratamiento de una parte del agua. Los dos tipos de sistema pueden emplearse para la regeneración del agua residual para reutilización.

En las pequeñas poblaciones, los criterios de elección de tecnología son claros, pero en muchas ocasiones no se han seguido criterios adecuados (la mejor tecnología disponible) y se han empleado tecnologías poco adaptadas a las necesidades reales pero más caras. La elección debería ser en el sentido que sigue:

- a) En potabilización: sistemas seguros (*water safety*), independientemente del espacio y los costes. Suelen existir versiones a escala reducida de las tecnologías de elección para grandes sistemas.
- b) En depuración: sistemas modulares duros (biodiscos, por ejemplo) o sistemas extensivos (naturales) tipo lagunaje, zonas húmedas construidas o infiltración-percolación. La instalación de tecnologías poco adaptadas a pequeños tamaños suele ser sinónimo de fracaso. También se debe tener en cuenta la seguridad de los sistemas, en términos de sanidad humana o ambiental.

En cualquier caso, la elección de la tecnología adecuada es sinónimo de rendimientos adecuados y de no desperdiciar energía.

En el caso del abastecimiento a poblaciones, el criterio indispensable es la seguridad del abastecimiento en términos absolutos de calidad (potable) pero también de garantía de suministro. Esta característica se define en varias publicaciones de la OMS (2006 y años sucesivos).

En los últimos años, aparte de los contaminantes tradicionales, las preocupaciones se han centrado –tanto para aguas potables como residuales– en los microcontaminantes de diversos orígenes (productos cosméticos o de higiene personal, medicamentos, disruptores endocrinos, etc.) de los que se indica que requieren tratamientos caros para su eliminación (por ejemplo, ozono y carbón activado), aunque no siempre sean los más adecuados. En la legislación se suelen incluir límites para este tipo de contaminantes, y a menudo esto crea problemas de tratamiento y vertido, ya que las concentraciones autorizadas acostumbran a ser bajas, incluso menores que las autorizadas para aguas potables. Las ciudades situadas en la parte final de las cuencas de los ríos suelen padecer este problema con mayor gravedad.

2.3. Potabilización

2.3.1. Procesos de potabilización

Como se ha indicado, los procesos de potabilización elegidos dependen de la calidad del agua como materia prima, de la disponibilidad de energía y del tamaño de la población servida. Una de las plantas de potabilización más complejas en España es la de Sant Joan Despí (Barcelona) debido a la contaminación del agua del río Llobregat, que drena una cuenca con explotaciones de potasas, numerosas industrias y poblaciones.

La planta de Sant Joan Despí (figura 2.12), que abastece a una parte importante de la ciudad de Barcelona y poblaciones de su entorno, es una de las más avanzadas de Europa en tecno-

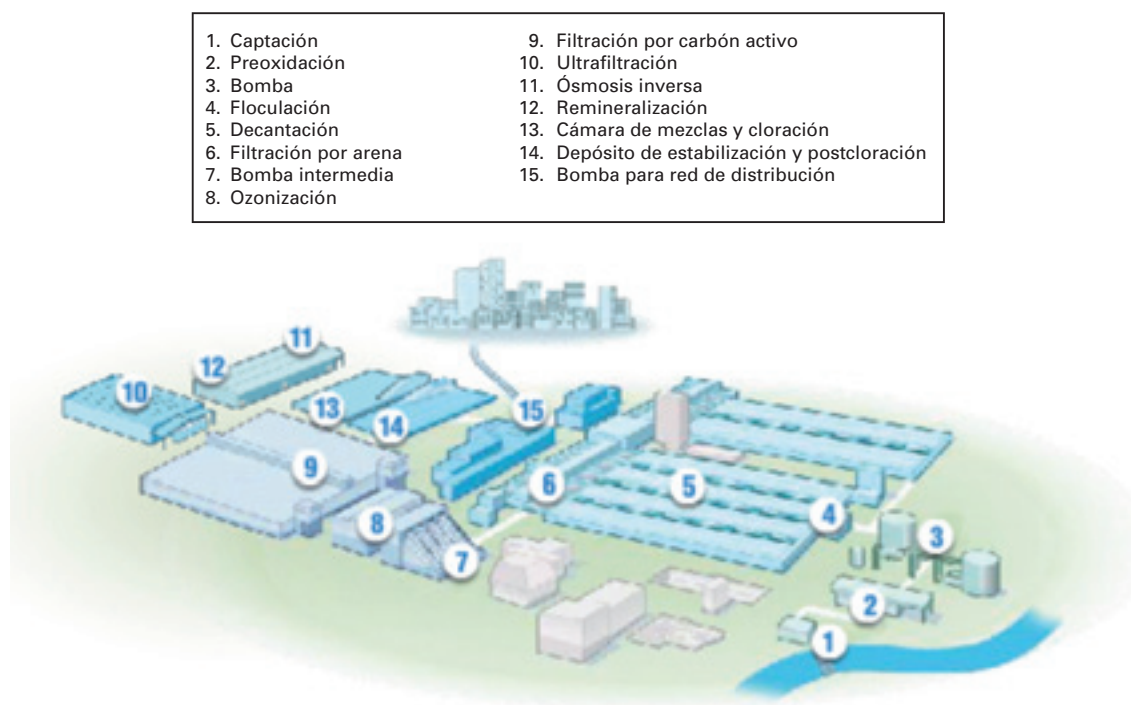


Figura 2.12. Planta potabilizadora de Sant Joan Despí, Barcelona (España).
Fuente: Aigües de Barcelona (consultado en 2016).

logía, y además de los procesos de pretratamiento, clarificación y desinfección final, aplica un tratamiento del agua con ozono y carbón activo que asegura una mejor calidad. Además, parte del caudal pasa por una ósmosis inversa.

En el extremo opuesto se sitúan las instalaciones de potabilización que emplean agua de origen de muy buena calidad contrastada y cuyo tratamiento puede limitarse a una cloración. Suelen emplear aguas subterráneas no contaminadas y abastecer a poblaciones pequeñas.

Por ello hay que tener en cuenta determinados componentes del agua que podrían causar problemas, si se destinan al consumo, debido a su presencia en concentraciones por encima de los límites legales. El caso paradigmático son los nitratos, que se suelen encontrar en concentraciones elevadas en zonas de agricultura o ganadería intensiva. Las tecnologías de eliminación de este compuesto son caras, ya sea en tratamientos *in situ* o *ex situ*; en todo caso, la eliminación de los contaminantes requiere cantidades importantes de energía por encima de las habituales.

2.3.2. Tratamientos para la industria

Los requerimientos de calidad del agua son muy variados dependiendo del tipo de industria. Determinadas industrias (electrónica, alimentaria, farmacéutica) necesitan agua de extremadamente buena calidad, con salinidades casi nulas, lo que requiere inversiones muy importantes en equipos y mucha energía para la operación. Si el agua se emplea para refrigeración de equipos o en centrales de producción de energía, la calidad también se debe modificar puesto que se requiere un contenido reducido de sales para evitar la corrosión o la incrustación. Prácticamente cada tipo de industria precisa una calidad específica de agua.

Las industrias de un cierto tamaño suelen tener servicios comunes, con el requerimiento energético consiguiente. Los ejemplos más claros son los suministros de agua caliente, vapor y vacío; con el consiguiente aporte de energía.

Los tratamientos de desalación (ósmosis inversa, electrodiálisis reversible, intercambio iónico) aportan contenido en sales (salmuera residual) a las aguas residuales, lo que requiere energía adicional para el tratamiento o su eliminación al mar.

Para otros usos, los tratamientos también se eligen en términos de eficiencia y seguridad, aparte de la economía. Los casos más usuales son las aguas para abastecimiento a industrias que requieren una calidad elevada del suministro (electrónica, alimentación, etc.) o a agricultura (contenidos controlados en sales).

2.4. Distribución al usuario

Las características de las redes de distribución son variables en función del destino final del agua y de la seguridad implicada necesaria. Así, las redes de agua potable deben garantizar una gran estanqueidad y que la calidad del agua no varíe durante el tránsito. Otros tipos de redes, por ejemplo las que suministran agua a agricultura, no tienen tantos requerimientos tecnológicos ni legales.

2.4.1. Distribución urbana

La distribución de agua potable se inicia en las fuentes de suministro, que puede ser local (pozos, minas, galerías), comarcal o mancomunado, o fuentes de mayor tamaño (embalses) en el caso de que se requieran grandes volúmenes de agua.

La necesidad de garantizar el suministro (seguridad de suministro de calidad adecuada) conduce en el caso de grandes infraestructuras a establecer mecanismos de seguridad (más de una fuente, interconexiones, etc.) que pueden requerir que el suministro de energía sea también seguro (duplicado) y en ocasiones se deba recurrir a soluciones intensivas en energía (desaladoras). Las instalaciones pequeñas pueden tener soluciones menos costosas y en situaciones extremas pueden ser abastecidas con medios simples (camiones cisterna).

Las situaciones de sequía pueden requerir soluciones extremas, hasta el transporte de agua mediante ferrocarril o barco, que pueden implicar un gran uso de energía.

El paso siguiente en el ciclo antrópico es la distribución a los usuarios finales, tanto domésticos como de pequeñas industrias y servicios propios de las ciudades. Para casi todas las redes de distribución se requiere utilizar una cantidad apreciable de energía. La cantidad a

2. El papel de la energía en el ciclo del agua

emplear depende de diversas circunstancias, como las diferencias de altura (la orografía de la zona servida) y la extensión de las redes.

En las grandes ciudades, la distribución es extremadamente compleja, se efectúa por pisos de altura y en los últimos años se ha computarizado con el fin de ahorrar energía.

En las pequeñas poblaciones con red pública, se intenta trabajar al máximo con las conducciones por gravedad, y a veces se ha empleado el recurso de elevar el agua hasta una torre o un depósito elevado (figura 2.13) y desde allí proceder a la distribución en los domicilios o infraestructuras públicas.



Figura 2.13. Antigua torre de distribución de agua del Parc Taulí, en Sabadell (España).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2008).

2.4.2. Distribución industrial

Las industrias pueden situarse aisladas, en polígonos o en el tejido urbano; aunque las mayores se localizan en las dos primeras circunstancias. Estas se abastecen de pozos propios, a partir de las redes urbanas de distribución o mediante servicios mancomunados de los polígonos industriales.

Determinadas industrias (como por ejemplo grandes industrias químicas como Ercros en Flix, río Ebro, o la antigua industria textil en el río Llobregat) se han localizado al lado de ríos caudalosos para facilitar su acceso a los recursos hídricos necesarios. Habitualmente, la cantidad de agua que emplean las instalaciones está controlada por la Administración.

2.4.3. Almacenaje y distribución en agricultura

Se consideran los usos puramente agrícolas y los de ganadería. Así, en el caso de la *agricultura* se recurre a aguas superficiales o subterráneas. Las aguas subterráneas requieren bombeo y distribución, mientras que la gestión de las aguas superficiales para usos agrícolas suele requerir alguna forma de almacenaje en regiones áridas o semiáridas. En España hay un gran número de embalses específicos para agricultura y otros que combinan los usos agrícolas, los de abastecimiento urbano y los de generación de energía. Los análisis de ciclo de vida son importantes en este caso para deducir el impacto real de las instalaciones y su relación con la energía.

Se utiliza electricidad en un gran número de instalaciones para dar soporte al riego agrícola; muy específicamente para bombear agua subterránea, bombear agua desde fuentes superficiales como una corriente de agua o canal de riego y para dar presión a los equipos de riego por aspersión o goteo (Tidwell *et al.*, 2014).

Por lo que respecta a la *ganadería*, el agua se emplea para abrevar y para la limpieza de instalaciones de estabulación, y para las industrias de transformación (tales como lecherías, mataderos, etc.).

La energía en la agricultura

La FENACORE (FEDeración NAcional de COMunidades de REGantes de España, 2014) describe que la reforma acometida por el Ministerio de Industria en el año 2013 ha disparado

el gasto anual energético de los regantes hasta los 700 millones de euros. La explicación es que este aumento se debe a seis años de subidas del precio de “la luz”, traducidas en un incremento medio superior al 1.000% en los costes fijos y al 100% en el total de la factura desde 2008, fecha en la que desaparecieron las tarifas especiales para riego. Con esta subida es prácticamente imposible amortizar las inversiones en modernización de regadíos. Con estos cambios, el 70% de la factura de la electricidad en el regadío corresponde a costes fijos que se pagan durante todo el año aunque solo se consuma electricidad entre tres y siete meses al año.

Una de las soluciones que se han planteado para disminuir la factura eléctrica de las comunidades de regantes es la creación de las denominadas “centrales de compras” (FERAGUA, Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía, 2014). Este tipo de asociación o central de compras consigue “precios muy ventajosos para sus asociados”. Además, los regantes adquieren de esta forma conocimientos sobre el mercado eléctrico. El ejemplo indica que desde un entorno inicial de 55 €/MWh se consiguen precios medios inferiores a los 45 €/MWh.

2.5. Consumo final del agua

Hay que distinguir claramente entre *usos* y *consumos* de agua, puesto que en algunos casos el agua desaparece del ciclo (*consumo*) y en otros no (*uso*).

Cada uso/consumo requiere unas características específicas del agua para minimizar el mantenimiento de los aparatos y reducir al máximo posible el consumo tanto de agua como de energía.

2.5.1. Uso agrario y ganadero

El uso mayoritario del agua en muchos países es en la agricultura, cuando el agua de riego es necesaria para el crecimiento de las plantas (riego de complemento o total). En cuanto a la ganadería, el agua se emplea para abrevar al ganado o para la limpieza de establos y maquinaria (por ejemplo, en lecherías) y su calidad debería ser equivalente a la de suministro do-

méstico. Según datos de la Unesco, en su Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (2016) titulado “Agua para todos, agua para la vida”, la distribución mundial del uso del agua es la siguiente (tabla 2.2):

En comparación con la agricultura, el consumo de agua para ganadería es relativamente reducido y depende del tamaño de la cabaña en cada lugar específico, por tanto no se puede facilitar una cifra concreta.

Los sistemas de riego pueden incluir los siguientes equipos e infraestructura:

- embalses de cabecera para almacenaje interanual (que pueden utilizarse para otros fines: hidroelectricidad, suministro de agua potable, caudales ecológicos);
- grandes canales;
- balsas estacionales o interestacionales;
- obras de toma o derivación (azudes, etc.);
- pozos, si el origen del agua es subterráneo;
- estaciones de bombeo y acequias para transportar el agua (incluyendo el drenaje);
- distribución: canales a lámina abierta, tuberías y redes de distribución presurizada;
- aplicación, que depende del tipo de riego (localizado, aspersión, a manta, etc.);
- drenaje si es necesario;
- control de colas de riego.

El método principal de entrega “final” de agua al campo (para cerca del 95% de los proyectos en todo el mundo) es el riego por inundación o a manta, o por surcos. Otros sistemas

	%
Agricultura	65-90
Industria	10-22
Uso doméstico	8-70

Tabla 2.2. Uso del agua en el mundo.
Fuente: elaboración propia.

emplean aspersores y riego por goteo. Son técnicas relativamente modernas, que requieren una inversión inicial mayor y un manejo más intensivo que el riego de superficie. No obstante, el riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el riego. Todos los sistemas que implican presión requieren obviamente el empleo de energía.

En los últimos decenios se ha incidido en la modernización de riegos, con el objetivo de reducir el consumo de agua y energía. Se ha difundido –incluso “vendido” con el eslogan “más cosecha por gota” (*more crop per drop*)– que esta transformación solo implica ventajas, pero lo cierto es que se obvian los posibles inconvenientes, como es la salinización de suelos. En realidad, no se ha contemplado el riego como el aporte de agua a un sistema suelo-planta-atmósfera.

En la figura 2.14 se detallan los dos tipos básicos en los que se pueden agrupar la mayor parte de sistemas.

2.5.1.1. Riegos convencionales

El riego *convencional* es el que se ha estado practicando durante milenios a base de inundar las tierras que se quieren regar, ya sea totalmente o mediante surcos y caballones. Si se requiere energía es para elevar el agua a los campos que se quieren regar.



Figura 2.14. Tipos de riego.
Fuente: Fotografías de M. Salgot (2009).

En la actualidad, esta elevación se consigue mediante bombas, pero históricamente se ha recurrido a algunas de las tecnologías ya descritas (*shaduf*, norias, molinos de viento, tornillos de Arquímedes, etc.). Otra de las técnicas empleadas era y es captar el agua a mayor altura que la zona a regar y transportarla hasta ella mediante canales o acequias por gravedad. Esta tecnología fue desarrollada algunos milenios antes de Cristo y fue perfeccionada por romanos y árabes.

2.5.1.2. Riegos a presión

El concepto de riego *a presión* es sencillo: se trata de proporcionarle energía al “agua muerta”. Cuando se habla de *aguas muertas*, se refiere a aguas estancadas, no a aquellas que han perdido sus cualidades químicas y que no son aptas para regar.

Este tipo de riego incluye aspersión, riego localizado, tuberías exudantes, etc.

El objetivo del riego a presión es permitir llevar agua de una zona concreta a otra para poder ser aplicada al sistema suelo-planta. La mayoría de las veces se encuentra agua muerta en un lago, un estanque o una balsa de riego, o directamente en un pozo o acuífero. En cualquier caso se debe solventar esa diferencia de altura proporcionando energía potencial y después energía cinética.

2.5.2. Uso industrial

Cada tipo de industria requiere una calidad o calidades determinadas de agua. La calidad varía en gran manera, desde la ausencia de modificaciones hasta agua sin contenido alguno en sales. Las industrias suelen emplear más de una calidad de agua y en las de gran tamaño coinciden varias redes de suministro.

Según sea el uso final, se debe tratar el agua hasta obtener la calidad necesaria, ya que el agua puede ser parte del producto final o el mismo producto final. En el caso de que el agua se emplee como refrigerante, se deben considerar las pérdidas de energía inherentes (véase apartado 1.3.3 del capítulo 1).

Determinadas industrias (farmacéutica, cosmética, electrónica) requieren agua de calidad extremadamente buena, lo que implica un notable gasto en energía.

El agua como producto final es el caso del agua embotellada, los refrescos y el hielo comercial. En ambos casos, se emplea energía ya sea en la extracción del agua, en la fabricación y limpieza de los envases o en congelar el agua.

En este caso, la energía se requiere para la captación (si la hay), el tratamiento y la distribución interna, y normalmente proviene de la red eléctrica. En instalaciones aisladas, la producción de energía puede ser interna, con o sin cogeneración.

En grandes industrias o polígonos industriales, los flujos de calor residual procedentes de diversas fuentes (térmicas, depuradoras de aguas residuales, calefacciones) se pueden aprovechar en diversos procesos, desde sistemas de acondicionamiento internos y externos a distribución de calor o frío para usos industriales, piscifactorías, etc.

Hay que diferenciar claramente las industrias aisladas de los polígonos. Se trata de un problema de tamaño que permite o no trabajar con sistemas de cogeneración considerando la recuperación de la inversión (véase Caso 6).

2.5.3. Uso doméstico y en edificios

El agua llega a los domicilios conectados a una red a presión impulsada desde estaciones de bombeo o por gravedad, según la configuración de la red. Aparte de esta energía que permite que el suministro llegue a los domicilios, una vez el agua está en estos se puede emplear energía en calentarla o enfriarla con gas natural, electricidad, hogares de leña, etc.

Por lo que respecta a los edificios públicos o industrias, se pueden centralizar determinados servicios como la calefacción, el suministro de agua caliente y en algunos casos vapor, y para todo ello se requiere energía empleada en calentar agua. En la actualidad se describen sistemas centralizados de calor/frío mediante energía residual de instalaciones de generación de energía (clásicas, de incineración de residuos, etc.).

Para minimizar u optimizar el uso de energía es importante emplear sistemas aislados térmicamente o, si existen instalaciones de cogeneración, utilizar el calor residual.

2.6. Alcantarillado

Una vez empleada, el agua debe devolverse al medio o ser reciclada. No obstante, esto debe hacerse de manera centralizada excepto en sistemas muy pequeños (viviendas aisladas, pequeñas instalaciones industriales lejos de las redes de alcantarillado, etc.).

En general, estos sistemas, que dependen de los ayuntamientos, emplean la fuerza de la gravedad para el movimiento del agua. En zonas planas, sin embargo, pueden ser necesarios sistemas de bombeo para que el agua alcance el punto de vertido o la instalación de depuración. Suele ser importante tener sistemas energéticos redundantes independientes de la red, para evitar episodios de inundación.

En determinados sistemas de saneamiento, los bombeos de agua residual hacia la EDAR pueden representar hasta la mitad del gasto energético de las instalaciones de aguas residuales; la otra mitad corresponde a la depuración.

2.7. Depuración

Tanto para el uso o consumo como para el tratamiento después de haber sido utilizada, el agua requiere diversos tratamientos de tipo físico, químico o biológico, según las necesidades de uso o sus componentes, ya sean estos de origen natural o debidos a la contaminación, y se llevan a cabo en las EDAR (figura 2.15).

Los procesos de eliminación de sólidos en suspensión y coloidales son la base de la mayor parte de las tecnologías de tratamiento del agua residual. En la mayoría de casos no se eliminan los sólidos disueltos de las aguas residuales.

Las EDAR suelen constar de pretratamientos, tratamientos primarios y secundarios en las configuraciones normales. Según las necesidades, se incorporan tratamientos terciarios o avanzados para contaminantes específicos o reutilización de las aguas. Todo esto en la línea de agua, que coexiste con la línea de fangos en las medianas y grandes depuradoras.

Normalmente se trabaja con pretratamientos para eliminar los grandes sólidos, arenas, grasas y otros componentes que puedan afectar a los tratamientos posteriores.



Figura 2.15. EDAR del Baix Llobregat, Barcelona (España).

Fuente: Fotografía de M. Salgot (2011).

El mayor gasto de energía se da en los tratamientos secundarios biológicos que requieren energía para la agitación y aporte de oxígeno, y efectúan la transformación de los sólidos coloidales orgánicos en sólidos en suspensión (colonias microbianas o flóculos). Alternativamente se emplean membranas para retener los sólidos.

La elección de las tecnologías de depuración se basa en criterios económicos, de eficiencia, disponibilidad de tecnología y aceptabilidad; aparte del concepto de *gestión de peligros y riesgos* que se aplica en los últimos dos decenios. El conjunto de herramientas de tratamiento que se van a emplear se puede decidir aplicando sistemas de soporte a la decisión, conocidos por sus siglas en inglés DSS de *Decision Support System*.

Entre las tecnologías de depuración se encuentran las de membrana que son muy intensivas en energía, especialmente si se emplean para eliminar sales o microcontaminantes del agua residual. Algunas tecnologías de depuración (por ejemplo, la de lodos activados) pueden llegar a ser casi neutras en términos de demanda de energía, en los grandes sistemas de depuración (grandes ciudades).

Otro aspecto a tener en cuenta es el tamaño de las instalaciones que ejerce un efecto decisivo en la tecnología que debería escogerse (mejor tecnología disponible). Las grandes instalaciones requieren que se emplee mucha energía en términos globales, pero comparativamente poca por unidad de agua tratada. Al contrario, las instalaciones de pequeño tamaño emplean globalmente poca energía, pero los costes por volumen tratado son mucho mayores, como es el caso de los biodiscos (figura 2.16). El límite entre grandes instalaciones y pequeñas se establece entre 2000 y 5000 habitantes.

La depuración de aguas residuales ha sido considerada tradicionalmente como una gran consumidora de energía, que solo en parte podía ser recuperada mediante la combustión del gas producido en la digestión anaerobia. En el último decenio, se han llevado a cabo numerosas investigaciones y se han planteado diversas soluciones para aprovechar la energía estática que tienen las conducciones de transporte, distribución y abastecimiento vinculadas al ciclo integral del agua. Estos excesos se suelen disipar con depósitos intermedios de rotura de carga, válvulas reguladoras de presión o cualquier otro dispositivo de pérdida de energía para ajustar el nivel de presión a la curva de demanda del sistema.

El potencial recuperado puede ser empleado para la producción de energía eléctrica o para la recuperación energética. Todo ello en el contexto de la minihidráulica, mediante el picoturbinado o el control de consumos.

En el caso de las depuradoras de agua residual de cierto tamaño, que operan con sistemas de lodos activados, no solo consumen sino que también producen energía y otros recursos reutilizables. La energía producida mediante la combustión del biogás de la digestión anaerobia (véase figura 2.17) puede ser reutilizada internamente para incrementar la autosuficiencia energética de la planta y/o externamente para suministrar a las áreas e infraestructuras adyacentes. En el último caso, para grandes instalaciones, la depuradora puede ser considerada como una célula regional de energía.

También se considera la recuperación de calor a partir del agua residual mediante intercambiadores de calor, que extraen energía térmica del agua residual. Posteriormente, las bombas



Figura 2.16. Biodiscos en La Garrotxa, Girona (España).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2009).

de calor llevan la energía extraída hasta un nivel más alto de temperatura. El calor generado es utilizado para calentar edificios incluso para instalaciones externas o barrios enteros. Según el equipo empleado, las bombas de calor también son capaces de producir frío para el acondicionamiento de edificios.

Hay que considerar que desde el punto de vista teórico solo un tercio del potencial de recuperación de calor es económicamente factible (Kretschmer *et al.*, 2015). Para hacer el uso más eficiente posible del calor del agua residual, los consumidores potenciales deben estar situados a corta distancia de las depuradoras. Esto se puede conseguir mediante una planifi-



Figura 2.17. Depósito de gas generado en la EDAR de Gavà-Viladecans, Barcelona (España).
Fuente: Fotografía de M. Salgot (2011).

cación del uso regional del suelo y de la energía (definición de zonas de energía, identificación de áreas prioritarias de desarrollo, etc.). Esta localización cerca de las depuradoras puede ser considerada como un primer paso hacia la integración de la infraestructura del agua residual en los sistemas regionales de suministro de energía.

Las depuradoras pueden no tan solo generar energía térmica extraída del agua residual sino también diversos tipos de energías y recursos que se producen en ellas.

Desde el punto de vista macroeconómico nacional, la demanda de energía de las depuradoras es poco significativa, no obstante a escala microeconómica (economía de una comunidad) se considera que es un coste comparativamente alto.

La factibilidad técnica y económica de la mejora de la gestión de la energía en los sistemas de saneamiento depende de diferentes condiciones, tales como el rendimiento de las depuradoras, limitaciones de infraestructuras, suministradores existentes de energía, precios de la energía, demanda de energía disponible, limitaciones legales, etc.

La integración de los sistemas de saneamiento, incluidas las depuradoras, en los sistemas regionales de suministro de energía implica tres aspectos:

- Optimización energética de la depuradora: uso eficiente de la energía eléctrica y térmica, aumento de la producción de energía, reutilización interna, etc.
- Reutilización dirigida del exceso de energía y recursos hacia las proximidades de la depuradora: identificación de las demandas actuales y futuras de energía, coordinación con la comunidad y los suministradores existentes de energía, etc.
- Optimización de los flujos de energía interna y externa, y de los recursos desde los puntos de vista económico y ecológico (dentro y fuera de la depuradora).

Desde el punto de vista energético, una depuradora de agua residual es muy compleja (tabla 2.3), ya que consta de diferentes procesos y diferentes tipos de empleo y recuperación posible de energía, ya sea térmica o eléctrica.

2.8. Regeneración/reutilización

Se considera que el agua depurada hasta los límites legales (normalmente los de vertido) puede ser un recurso adicional de agua, utilizable en áreas con déficit de agua crónico o estacional. Parte de la demanda, especialmente en zonas áridas o semiáridas, se puede cubrir con estos recursos no convencionales.

2.8.1. Regeneración

Las aguas residuales pueden emplearse legalmente en muchos países como recurso no convencional, aunque para ello se requiere un tratamiento adicional de *regeneración*. Hay mu-

Energía eléctrica	Bombas de impulsión a la depuradora.
	Pretratamiento mecánico (rejas automáticas, limpieza de la cámara de gravas).
	Tratamiento biológico (aireación, agitación, recirculación de fango, etc.).
	Tratamiento de fangos (espesamiento mecánico del fango, digestión anaerobia, deshidratación, etc.).
	Infraestructuras (suministro de energía a edificios y oficinas, iluminación eléctrica, calefacción y refrigeración de los edificios de operación y oficinas).
Energía térmica	Tratamiento de lodos (precalentamiento de lodos, calentamiento del digestor, compensación de pérdidas de calor, etc.).
	Infraestructuras (calefacción y enfriamiento de los edificios de operación y oficinas, producción de agua caliente).
	Se suele calentar el fango en el proceso de recirculación (excepción posible con temperaturas ambientales elevadas).
	La digestión anaerobia requiere una temperatura determinada, en función del tipo de proceso (termófilo, mesófilo, etc.). Los requerimientos de energía varían con la temperatura ambiente. Pueden usarse los gases producidos en la digestión anaerobia para generar energía.
	Puede aprovecharse la energía procedente de los gases de la digestión anaerobia.

Tabla 2.3. Consumo, producción y reutilización de energía y recursos: mayores consumidores de energía en una depuradora.

Fuente: elaboración propia (2016).

chos usos posibles para el agua regenerada, entre los que se incluyen la agricultura, la industria, los usos urbanos, etc.; prácticamente todos los usos para los que se emplean las aguas naturales.

Se considera en los últimos años la posibilidad de utilizar el agua regenerada para usos potables, después de aplicar los tratamientos adecuados. Hay que dejar constancia de que esta práctica se ha llevado a cabo desde hace más de 40 años en Windhoek (Namibia).

2.8.2. Reutilización

La reutilización de aguas residuales se está implantando en todo el mundo como una de las herramientas básicas para reducir la extracción de agua del medio natural. Aunque parezca un

proceso en teoría simple existen numerosas discusiones al respecto especialmente por lo que concierne a los temas de seguridad en el mundo del agua (temas de calidad más que de cantidad en este punto). Esto es consecuencia de las preocupaciones por la salud de la población.

En Europa, no existe en estos momentos legislación que contemple las calidades de agua necesarias para proceder a la reutilización en diferentes usos (agricultura, urbanos, ocio, etc.). No obstante, y en consonancia con la economía circular promocionada por la Unión Europea, hay mucha actividad para crear un marco común europeo en este aspecto.

Por el momento, existen legislaciones bastante restrictivas en los países del sur (mediterráneos). Se prevé una legislación común europea en 2017 o 2018.

Las implicaciones de la reutilización serían básicamente en términos de ahorro del recurso o de la energía empleada en aportar agua al ciclo antrópico de la misma.

2.9. Vertido final

Una vez el agua está depurada (y ocasionalmente sin depurar o diluida con agua de lluvia), se debe proceder a devolverla al medio natural. La forma más habitual es el vertido a cuerpos de agua, ya sean corrientes de agua, aguas estancadas o mar. Alternativamente, puede procederse a una reutilización o a la evaporación.

En todo caso, el vertido o la reutilización están sometidos a una legislación nacional. Las industrias pueden verter a red de alcantarillado o al medio natural, con unos condicionantes de calidad distintos.

Los vertidos a corrientes de agua o a aguas estancadas se producen generalmente sin consumo de energía. Los vertidos al mar con emisario requieren una cierta cantidad de energía para impulsar el agua y conseguir que salga del emisario (hay que vencer la resistencia que ejerce el mar sobre los difusores de agua depurada).

En casos muy concretos, en los que no hay posibilidad de vertido, se procede a la evaporación del agua (generalmente aguas salobres) o a vertidos al medio (por ejemplo en choperas). La energía en este caso se emplea en la distribución y aplicación del agua en sistemas con gran superficie específica (evaporación) o en zonas con capacidad de evapotranspiración o infiltración y percolación.

2.10. Gestión energética a escala doméstica

A continuación se exponen algunos ejemplos de gestión energética en relación con el medio hídrico.

- a) Para calentar agua puede emplearse *energía solar térmica*, incluyendo el almacenamiento de energía que retiene el calor para que el agua caliente esté disponible la mayor parte de tiempo posible empleando el mínimo posible de energía.
- b) Se puede ahorrar energía dotando a los grifos de *perlizadores* y a las duchas de reductores volumétricos de caudal o alcachofas de mano ecoeficientes. Se puede reducir así el consumo de energía para calentar agua en más del 40%.
- c) Con un mecanismo de *doble pulsador* en la cisterna del inodoro, el ahorro de agua puede ser superior al 70%, pero en este caso no se ahorra energía térmica, puesto que el inodoro solo emplea agua fría. Sí se ahorra energía de tratamiento y transporte de agua.
- d) En la Unión Europea, los electrodomésticos tienen una *etiqueta energética* para indicar la eficiencia en el consumo y su respeto con el medio ambiente. Son los electrodomésticos que consumen mucho o pasan encendidos gran parte de su vida útil. En relación con el agua, las lavadoras y los lavavajillas son los electrodomésticos de referencia. Se expresa la eficiencia energética de estos electrodomésticos con una escala de siete clases de eficiencia, y se identifican mediante un código de color y letras que va desde el verde y la letra A, para los equipos con mayor eficiencia, hasta el color rojo y la letra G para los equipos de menor eficiencia. Un electrodoméstico de clase A puede llegar a consumir un 55% menos que el mismo en una clase media.
- e) En cuanto al uso de lavadoras y lavavajillas, se recomienda *planificar* los lavados, de tal forma que en cada lavado haya la máxima carga posible. La lavadora consume casi igual llena que a media carga en términos de energía y agua.

3.

Casos prácticos

CASO 1 La gestión del agua en las centrales de ciclo combinado	
Localización: España	Años: 2015-2016
Empresa: Gas Natural Fenosa	
Subsector energético: Diversos (variable en función de cada proyecto)	
Infraestructura: Centrales de ciclo combinado de Gas Natural Fenosa	
Alcance territorial: Global	Fase de proyecto: En funcionamiento
<p>Contexto</p> <p>Las centrales de generación de energía deben optimizar la gestión para mejorar su competitividad en el <i>mix</i> energético y maximizar los beneficios. Por otra parte, la sociedad exige una mejora en términos de impacto ambiental de estas centrales: reducción de la huella de carbono, mejor aprovechamiento de la energía, reducción de uso de agua para refrigeración, etc.</p> <p>En este contexto, las centrales de ciclo combinado son mucho más eficientes en términos ambientales que las centrales clásicas de carbón y gas natural. En los ciclos combinados se genera energía por dos vías: la turbina de gas y la turbina de vapor. En este último caso utilizando el calor residual en una caldera de recuperación y generando vapor.</p> <p>Una central de ciclo combinado únicamente requiere, para la condensación del vapor, un tercio del agua de refrigeración necesaria en las centrales térmicas convencionales, lo que significa una mejora en el rendimiento energético, que pasa del 36 al 60%. Esto es debido a que la potencia de la turbina de vapor de un ciclo combinado es un tercio del total de la planta; pero, si las centrales convencionales tuvieran la misma potencia que la turbina de vapor de un ciclo, la pérdida por evaporación sería la misma. Esta afirmación depende de ciertas condiciones (por ejemplo, que esté en el mismo emplazamiento), ya que la pérdida por evaporación dependerá de la temperatura del agua de aporte y sobre todo de la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente.</p>	

Acciones realizadas



1. Proyecto Menos H₂O (“reducir, reutilizar y reciclar”)

El proyecto **Menos H₂O** (–H₂O) tiene como idea principal la reducción del consumo de agua, a partir de la regla de las tres erres: reducir, reutilizar y reciclar. Para estudiar cómo se puede reducir el consumo de agua se realizan balances de agua para identificar, caracterizar y cuantificar el agua del proceso.

Reducción

Se está trabajando en:

- Mejora del rendimiento/conversión en los procesos de tratamiento de agua.
- Optimización de la química del ciclo agua-vapor para reducir las purgas de caldera.
- Monitorización y mantenimiento preventivo para evitar fugas en las válvulas de caldera.
- Aumento de los ciclos de concentración en las torres de refrigeración:
 - o Por modificación del tratamiento químico.
 - o Por disminución de la conductividad en el agua de aporte directamente (ósmosis inversa, electrodiálisis reversible, etc.) o indirectamente mezclándola con otras corrientes de menor conductividad producidas en la planta de tratamiento de agua de la central.

Reutilización

Se está trabajando, de momento, en las siguientes reutilizaciones:

- Purgas y efluentes de caldera y de turbina de vapor como aporte a la torre de refrigeración y en la producción de agua desmineralizada.
- Efluentes de la planta de tratamiento de agua como aporte a la torre de refrigeración.

Reciclado

Los esfuerzos están centrados en:

- Tratamiento de la purga de la torre de refrigeración y su empleo como agua de aporte a la misma.
- Reducción del consumo de agua por dos vías:
 - o Utilización de la purga y los efluentes tratados como agua de aporte.
 - o Aumento de los ciclos de concentración, si la concentración de sales resultante es menor que la del agua de aporte.

2. Proyecto CapWa

Se trata de un proyecto europeo de I+D, cofinanciado por la Unión Europea y coordinado por Kema, que tiene como objeto desarrollar un sistema de recuperación de agua de procesos industriales, a través del uso de membranas poliméricas de alta selectividad que capturan agua de los gases de escape antes de ser vertidos a la atmósfera. La calidad del agua capturada es similar a la del agua desmineralizada, además de reducirse el consumo de agua para la generación de vapor.

Se han realizado pruebas en la central de ciclo combinado de Aceca (Toledo, España) con una planta piloto diseñada para recibir 1.000 m³/h de gas con el objetivo de capturar 1 m³/h de agua (figura 3.1).

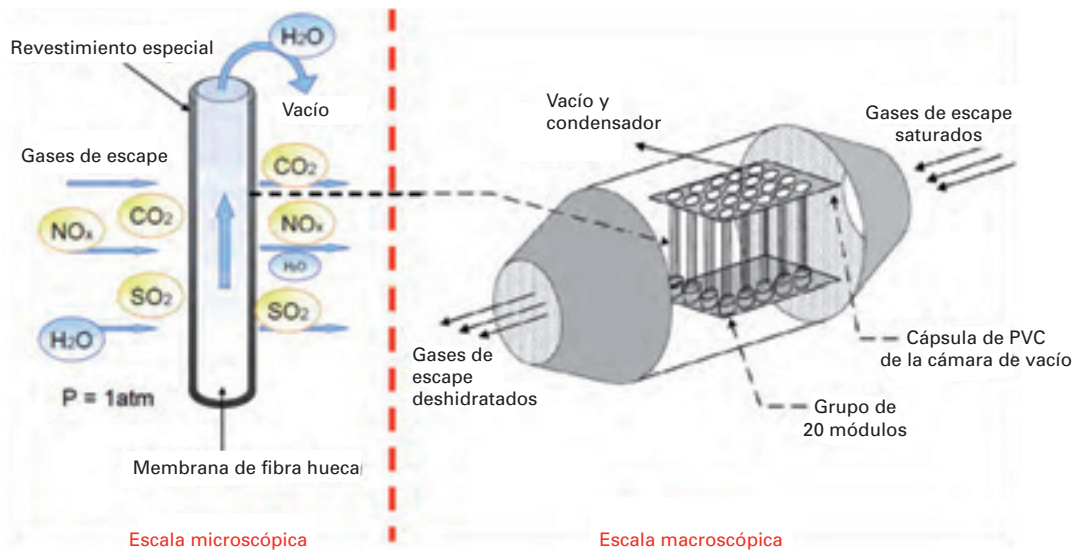


Figura 3.1. Proyecto CapWa.
Fuente: elaboración propia (2016).

La planta CapWa consta de dos conexiones con la chimenea de la central de ciclo combinado: una en la línea de aspiración de gases y otra en la línea de retorno de los mismos. Parte del vapor contenido en los gases es absorbido a través de las membranas. Todos los módulos de membranas están conectados en paralelo y conectados a la bomba de vacío. El vapor de agua pasa por un aerocondensador donde se condensa y llega a un depósito de separación líquido-vapor, en el que se retiene hasta que se alcanza el nivel de consigna y, una vez superado, se descarga. El ciclo se repite indefinidamente.

Resultados

En el proyecto Menos H₂O,

Fase I:

- Finalizada el 31 de diciembre de 2015.
- Se han elaborado los balances de agua de todas las centrales de carbón y de ciclos combinados, caracterizado y cuantificado todas las corrientes.
- Las conclusiones son:
 - En cuanto a la reutilización de agua:
 - Las plantas de tratamiento de aguas de las centrales de ciclo combinado estaban bien diseñadas y contemplaban las recirculaciones y/o reutilizaciones adecuadas.
 - Las reutilizaciones no contempladas eran:
 - Purgas y drenajes de caldera y de turbina de vapor como aporte a la torre y en la producción de agua desmineralizada.
 - Drenajes de la planta de tratamiento de agua como aporte a la torre.
 - En cuanto al reciclaje/regeneración de agua:
 - Esfuerzos centrados en el tratamiento de la purga de la torre de refrigeración.
 - Reducción del consumo de agua por dos vías:
 - Utilización de la purga tratada como agua de aporte.
 - Aumento de los ciclos de concentración (concentración de sales resultante menor que el agua de aporte).
 - Se ha realizado un estudio de viabilidad técnico-económica de diferentes tratamientos (proceso de electrodiálisis reversible [EDR] y tratamiento físico-químico más ósmosis inversa) para tres plantas de ciclo combinado.
 - La mejor opción debido a la alta conversión hidráulica y a razonables costes de explotación es la filtración más EDR en solo una de las plantas y en unas condiciones de ciclos de concentración que no se esperan en el futuro próximo.

Fase II:

- Iniciada el 1 de enero de 2016.
- Ya están lanzadas dos iniciativas:

- Caracterización del agua de aporte y vertidos de algunas centrales de ciclo combinado y de carbón en lo relativo a los contaminantes emergentes.
- Valorización de las purgas y drenajes de caldera y de turbina de vapor en forma de agua desmineralizada.

En el **proyecto CapWa** no se han obtenido los resultados previstos, dado el buen rendimiento que ya se había experimentado en una central térmica de carbón y en una planta papelera con los procedimientos habituales.

CASO 2 Embalses hidráulicos reversibles

Localización: Guadalajara (España)

Años: 1974 (Bolarque II) y 1976 (La Bujeda)

Empresa: Gas Natural Fenosa

Subsector energético: Generación y recuperación de energía

Infraestructura: Embalses hidráulicos reversibles

Alcance territorial: Local

Fase de proyecto: En operación habitual

Contexto

El *mix* de generación de electricidad debe asegurar la continuidad y la calidad del suministro en todo el sistema. Para gestionar la electricidad se debe saber qué cantidad de ella se genera y se consume en tiempo real.

Por otra parte, es importante considerar que la oferta y la demanda no coinciden en términos cuantitativos durante el día. En los momentos en que se produce más energía de la demanda (energía excedente) se pueden realizar dos acciones para solucionarlo (figura 3.2):

- Detener fuentes, lo que no es siempre factible, especialmente en instalaciones como las nucleares. Las fuentes hidroeléctricas, centrales de ciclo combinado y eólicas sí pueden detenerse con más facilidad.
- Recurrir al almacenaje de energía.

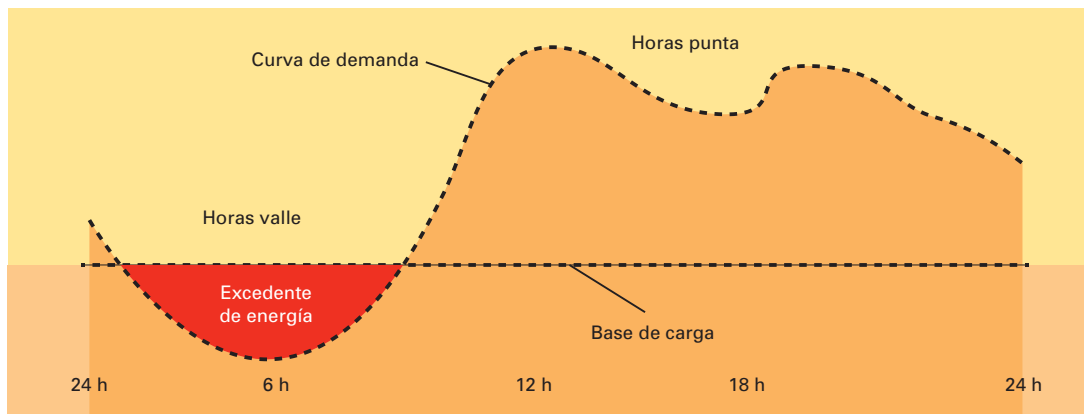


Figura 3.2. Ritmos de producción y consumo de la energía.

Fuente: Unesa (consultado en 2016).

Los embalses reversibles tienen la capacidad de aumentar la energía potencial del agua, subiendo el agua al embalse superior, consumiendo energía eléctrica. De esta manera puede utilizarse como un método de almacenamiento.

Para mejorar la eficiencia de las centrales se opta por las centrales hidráulicas reversibles (véase figura 1.8, en p. 26), compuestas por dos embalses a distinta altura y turbinas reversibles, que permite o bien generar energía eléctrica o bien bombear el agua hacia el embalse superior según la necesidad por modulación de la demanda (figura 3.3).

Gas Natural Fenosa cuenta con una potencia instalada en generación hidráulica convencional de más de 2.021 MW repartidos entre España, Panamá y Costa Rica. Es el tipo de central de generación más eficiente con un 90% de rendimiento y una fuente energética renovable autóctona.

Acciones realizadas

En España, más concretamente en Guadalajara, en la cuenca hidrográfica del río Tajo, Gas Natural Fenosa tiene instalada una central hidráulica reversible: Bolarque (figura 3.4) con cuatro grupos de bombeo, una potencia bruta de 215,4 MW y un volumen de 30,7 hm³.

La central Bolarque Reversible tiene una doble finalidad. Además de producir energía eléctrica para incorporarla a la red nacional, puede elevar el agua para nutrir el trasvase Tajo-Segura. Toma el agua del embalse de Bolarque, el cual está alimentado por los grandes embalses de Entrepeñas y Buendía. Las turbinas pueden elevar el agua hasta depositarla en el pequeño embalse artificial de La Bujeda y, desde aquí, se trasvasa al río Segura.

En este sentido, La Bujeda, con tres grupos de bombeo, una potencia bruta de 10,5 MW y un volumen de 6 hm³, es la central de bombeo puro que eleva el agua desde el depósito superior del complejo al canal del trasvase Tajo-Segura (figura 3.5).

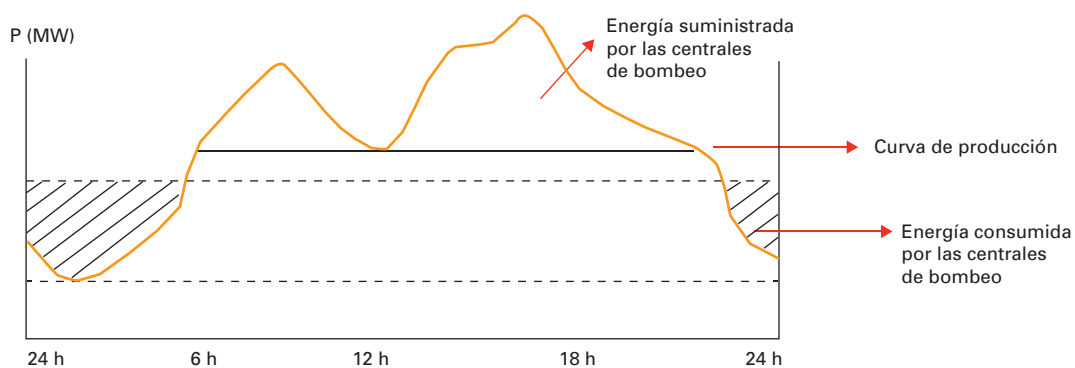


Figura 3.3. Modulación de la demanda.
Fuente: Gas Natural Fenosa (consultado en 2016).

Resultados

Las consecuencias positivas de las centrales reversibles son:

- Almacenamiento de energía producida en momentos de gran producción para ser generada en momentos de alta demanda. Esto posibilita un mayor aprovechamiento y óptima gestión de la energía de procedencia renovable, ya que esta última no es gestionable al producirse desacoplada de la demanda, es decir, cuando hay viento o sol.
- En los proyectos de centrales reversibles que se plantean en la actualidad no se produce ninguna afectación a los cauces de los ríos, ya que se aprovechan embalses preexistentes.
- Estas centrales permiten una mayor integrabilidad en el sistema de las centrales de energía renovable, al aprovechar al máximo su potencial, y se consigue:
 - Reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero.
 - Reducir la dependencia energética.
- No son dependientes de la disponibilidad del recurso.
- Tecnología madura y contrastada, sin riesgos técnicos.



Figura 3.4. Fotografía de la central hidráulica reversible de Bolarque.
Fuente: Fotografía de Gas Natural Fenosa (2015).

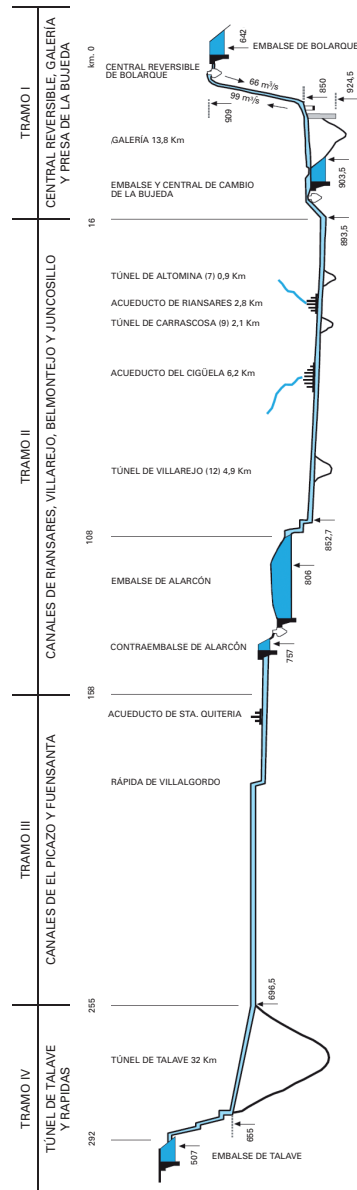


Figura 3.5. Perfil del trazado del acueducto Tajo-Segura.
Fuente: elaboración propia (2017).

CASO 3 La eficiencia energética y el aprovechamiento de biogás en los procesos de depuración de aguas residuales

Localización: Madrid (España)

Años: 2015-en curso

Empresa: Canal de Isabel II (CYII)

Subsector energético: Depuración de aguas residuales, aprovechamiento de biogás

Infraestructura: Depuradoras de Aguas Residuales de la Comunidad de Madrid

Alcance territorial: Regional

Fase de proyecto: En operación habitual

Contexto

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) han sido tradicionalmente grandes consumidoras de energía. Hay que mencionar que el sector ha ido incrementando el consumo energético debido a la implantación de un mayor número de instalaciones para cumplir con las directrices de la Unión Europea.

Las tecnologías empleadas tradicionalmente en las grandes EDAR se basan en el aporte de energía desde la red. La evolución y mejora de las EDAR han conducido a un replanteamiento del nexo entre el agua residual y la energía con tal de disminuir el consumo energético.

En las EDAR convencionales puede consumirse una gran cantidad de energía en los procesos de aireación (aporte de oxígeno) al agua a depurar y en los procesos de gestión de los fangos (materia sedimentada). Este consumo puede llegar a ser superior al 50% de la energía externa aportada al sistema de depuración concreto.

Puesto que en las EDAR se separa la materia orgánica del agua y esta incorpora energía en su estructura, hace unos años se planteó la posibilidad de aprovechar los fangos de depuradora, estabilizándolos y obteniendo dicha energía.

En la Comunidad de Madrid hay instaladas 156 depuradoras con un caudal total de 37 m³/s (figura 3.6). Estas instalaciones se pueden clasificar según su tecnología de estabilización de fangos (figura 3.7) y por su carga contaminante. Solo un 16% de las plantas instaladas son de digestión anaerobia, las cuales permiten el aprovechamiento del biogás generado. Estas corresponden a las depuradoras de mayor tamaño y su porcentaje en agua tratada es superior.

La obtención de energía se produce por combustión del gas generado en la digestión anaerobia que se emplea usualmente para el calentamiento del mismo digestor. Pueden instalarse también sistemas de cogeneración. El gas en exceso se quema mediante antorchas.

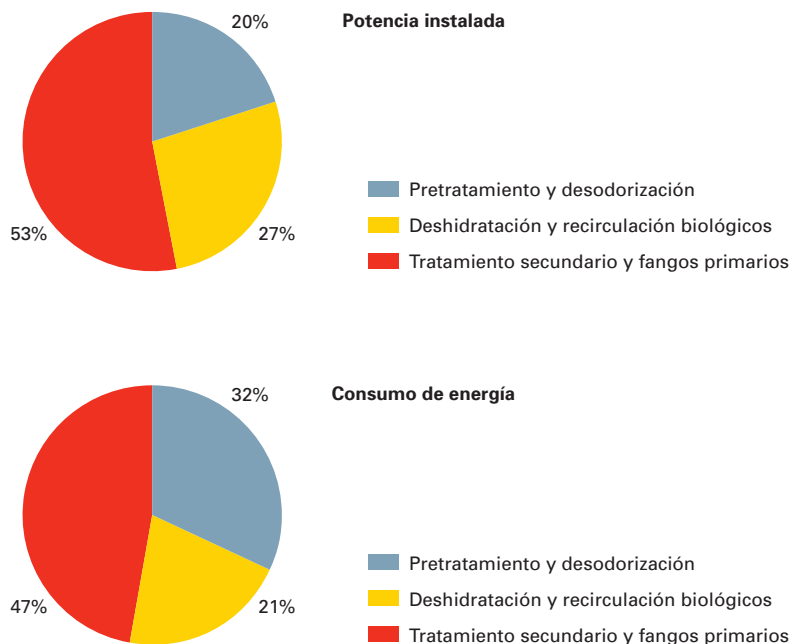


Figura 3.6. Consumo energético de los diferentes tratamientos de depuración en la Comunidad de Madrid.
Fuente: elaboración propia (2016).

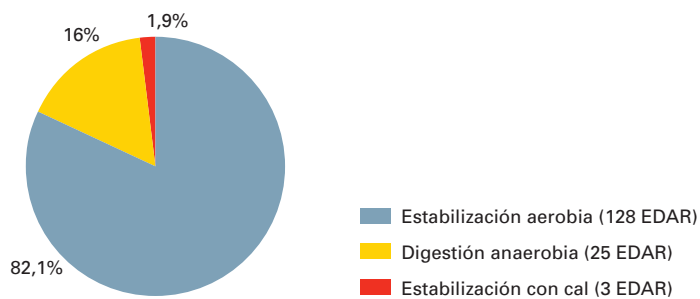


Figura 3.7. Tipos de tratamiento de aguas residuales en la Comunidad de Madrid.
Fuente: elaboración propia (2016).

Acciones realizadas

Marco del proyecto:

- a) Se basa en reducir el consumo de energía aprovechando que se rebajan los costes de operación y las emisiones de CO₂, lo que favorece el desarrollo sostenible. Para ello la ciudad de Madrid adquiere compromisos europeos como la Directiva 2012/27 sobre eficiencia energética 2020, los objetivos de las Asociaciones Europeas para la Innovación (EIP) en tecnologías de tratamiento de agua y agua residual, así como el paquete de medidas sobre cambio climático y energía (objetivos 2020) y marco para 2030.
- b) También hay que considerar las conclusiones del VI Foro Mundial del Agua, celebrado en Marsella (Francia) en el año 2012, en el que se propuso incrementar en 2020 un 20% el rendimiento energético en depuradoras urbanas respecto a valores de 1990.

Se realiza un seguimiento y operación en continuo, se recopilan datos, se tratan y se procede a tomar decisiones en consecuencia para iniciar la acción. Este ciclo es constante para asegurar que se toma la mejor decisión posible. En la figura 3.8 se observan diferentes medidas para aumentar la eficiencia de una planta depuradora.

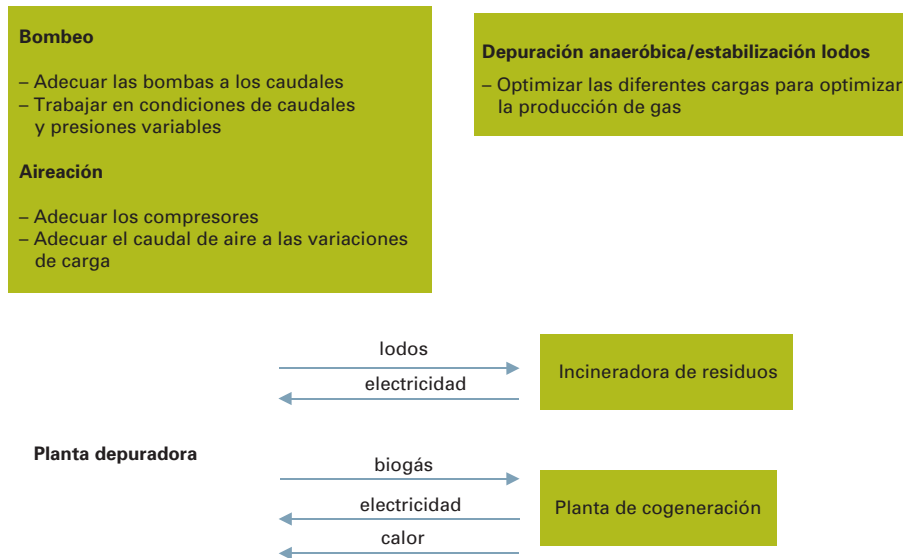


Figura 3.8. Medidas para mejorar la eficiencia de una planta depuradora.

Fuente: elaboración propia (2016).

Resultados

La electricidad generada por el biogás procedente de las EDAR es la segunda fuente con más potencia de la Comunidad de Madrid por lo que respecta a la energía hidráulica. Además, como se observa en la figura 3.9, su producción es constante y no varía estacionalmente, lo que presenta indudables ventajas de gestión.

En las depuradoras donde se produce biogás disminuye la obtención de lodos. Cuanto más biogás se produce, menos lodos se generan consiguiéndose así un ahorro económico extra. En la figura 3.10 se observa la evolución de los lodos generados en los últimos años, que ha ido disminuyendo a causa de la implantación de EDAR con aprovechamiento de biogás.

Otros planteamientos para disminuir el consumo de energía son:

- reducir la carga contaminante que llega a la depuradora mediante la separación en origen;
- aprovechar el agua de lluvia;
- reutilizar las aguas grises de baja concentración de sólidos en suspensión y materia orgánica disuelta.

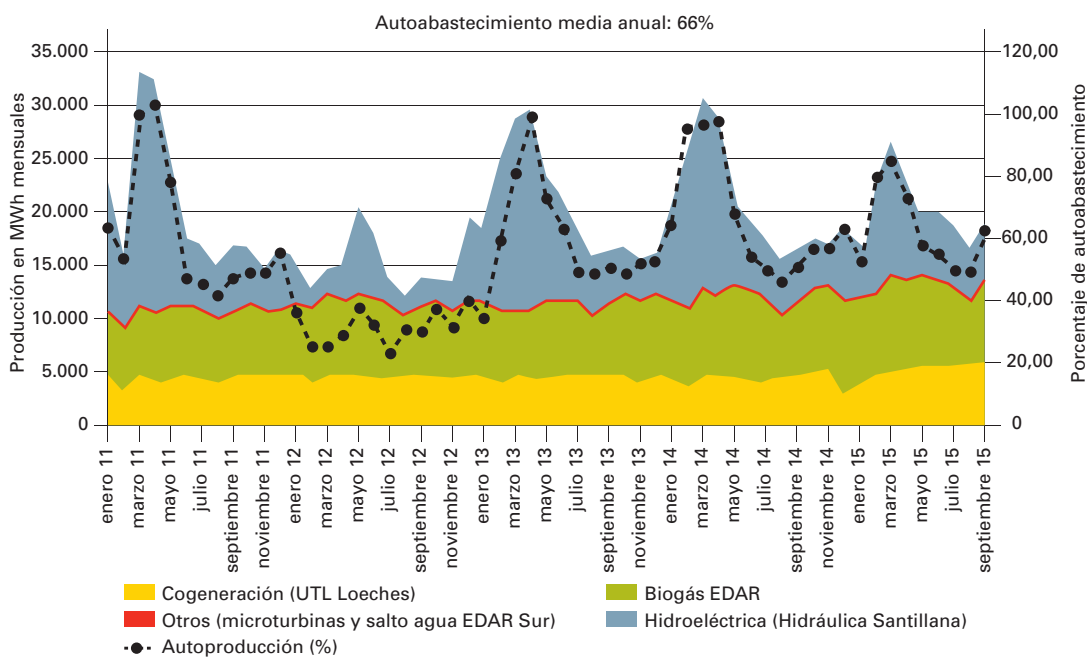
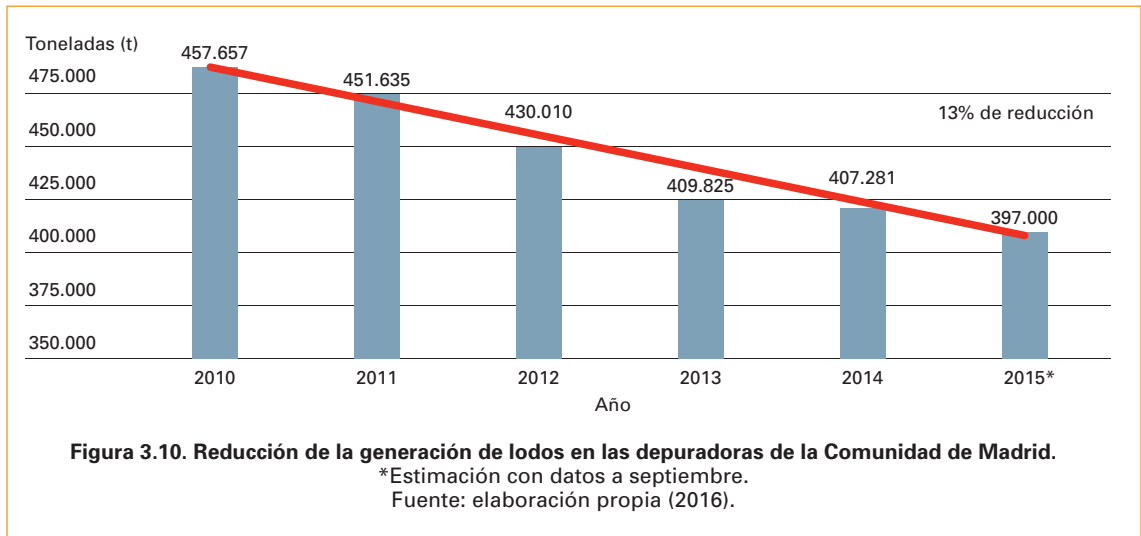


Figura 3.9. Abastecimiento de energía de las EDAR en la Comunidad de Madrid.

Fuente: elaboración propia (2016).



CASO 4 Centrales hidroeléctricas ecológicas

Localización: Cuencas del Miño, del Tambre y del Ulla (Galicia); cuenca del Tajo (Castilla-La Mancha)

Años: 2013 (Belesar II y Peares II), 2010 (Los Molinos), 2008 (Frieira II), 2003 (Portodemouros II), 2000 (Tambre III)

Empresa: Gas Natural Fenosa

Subsector energético: Aprovechamiento de energía con caudal ecológico

Infraestructura: Central hidráulica

Alcance territorial: Regional

Fase de proyecto: En funcionamiento

Contexto

Al proyectar un aprovechamiento hidroeléctrico, debe considerarse la necesidad (y obligación legal) de mantener un caudal permanente mínimo (ecológico) que garantice la preservación del ecosistema fluvial aguas abajo del aprovechamiento.

Galicia, una de las comunidades de mayor desarrollo hidroeléctrico, también ha sido una de las primeras en establecer leyes de carácter ambiental en estas explotaciones. Ejemplo de ello es la Ley 7/1992 de Pesca Fluvial, que garantiza la protección de los cursos fluviales para los nuevos aprovechamientos y establece procedimientos para la adaptación de los existentes a la nueva legislación, la corrección de repercusiones y medidas compensatorias. En julio de 2000, la Xunta de Galicia y Unión Fenosa establecieron un Pacto ambiental, en el que se recogían los compromisos de actuaciones concretas para la mejora medioambiental y la realización de actuaciones compensatorias. El objetivo del Pacto era que la generación hidroeléctrica y el medio ambiente fuesen dos realidades que trabajasen armónicamente en el desarrollo sostenible de Galicia.

En esta comunidad autónoma española hay varias centrales hidráulicas de caudal ecológico de Gas Natural Fenosa: Tambre III (río Tambre, A Coruña), Portodemouros II (río Ulla, A Coruña), Peares II y Belesar II (río Miño, Lugo) y Frieira II (río Miño, Ourense); en Castilla-La Mancha se encuentra la de Los Molinos (río Tajo, Guadalajara).

Acciones realizadas

Central de Belesar II, río Miño

Las centrales hidroeléctricas de Belesar II (figura 3.11) y Peares II en el río Miño son un ejemplo de centrales en las que se ha tenido en cuenta la ecología en su construcción y gestión.

El proyecto consiste en la ampliación de la central existente mediante nueva a “pie de presa” que permita mayor potencia que la actual, incremente los años de vigencia de las concesiones y mantenga un caudal medioambiental en el río.

- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:
 - Caudal (m³/s): $2 \times 10 = 20$
 - Salto neto (m): 120,82
 - Potencia (MW): 20,8
 - Producción (GWh/año): 137,9



Figura 3.11. Central hidráulica de Belesar II, Lugo (España).
Fuente: Gas Natural Fenosa (2014).

Es importante recordar que, aunque en algunas situaciones se simplifique con un valor de 1/10 del caudal medio (Q_m) anual; el caudal ecológico óptimo debe establecerse para cada mes o trimestre, ya que las necesidades de las especies no son siempre las mismas a lo largo del año (por ejemplo, durante la época de freza).

En España antes de adoptarse la legislación ambiental, ya existían la mayoría de grandes aprovechamientos y no todos mantenían un caudal de base continuo en todo el tramo del río. Son concesiones antiguas, por lo que una de las soluciones adoptadas ha sido el liberar los caudales ecológicos con la construcción de minicentrales a pie de presa, que además mantengan un caudal suficiente y continuo de base durante todo el año.

Centrales de Frieira II y Tambre III, ríos Miño y Tambre

En la construcción (2009) de la nueva central de caudal ecológico de Frieira (con una potencia de 18 MW) y un caudal nominal de 80 m³/s (figura 3.12), debía incluirse un nuevo dispositivo de franqueo en el margen derecho para evitar el efecto llamada de la nueva descarga (salida de máquinas).

En un primer diseño, se contempló un proyecto que subiese los peces y anguilas al embalse, pero –dado que el hábitat del embalse no es propicio para estas especies–, se modificó el proyecto con el concepto de un capturadero (figura 3.13), gestionado por la Xunta de Galicia que se encargaría de llevar los peces a hábitats más adecuados.

En la central de Tambre III, la idea del capturadero ya fue considerada de forma inicial en el proyecto, y presenta un funcionamiento excelente en lo que se refiere al número de animales recuperados por parte del área medioambiental de la Xunta de Galicia. Además, después de los años

pasados desde su construcción, se ha observado un incremento significativo de especies tales como la lamprea, con lo que se ha recuperado en gran medida la pesca tradicional de este animal.

Central de Portodemouros III, río Ulla

Con la central de caudal ecológico de Portodemouros III (10 MW) se consigue una mejora notable en la calidad del agua y en el rango de caudales del río. Hasta la construcción de dicha central, el caudal ecológico se suministraba por una válvula de fondo desperdiándose por tanto una gran cantidad de energía renovable. Para la mejora de la calidad del agua, la central cuenta con un dispositivo de oxigenación que entra en funcionamiento de forma automática y consigue elevar sustancialmente los valores de oxígeno disuelto.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Caudal nominal: 80 m³/s (un grupo)
- Potencia nominal: 17,5 MW
- EPC: Socoin (turbogruppo Alstom)
- Año 2009

Central en el estribo derecho de la presa junto a la vía del tren. Pilotaje, presa cortada con hilo de diamante, sostenimiento del muro aliviadero. Sistema continuo de auscultación de presa.



Figura 3.12. Central hidráulica de Frieira, Pontevedra (España).
Fuente: Gas Natural Fenosa (2014).



Figura 3.13. Capturadero de la central ecológica de Frieira, Pontevedra (España).
Fuente: Fotografía de Gas Natural Fenosa (2014).

Resultados

Las consecuencias positivas de las centrales de caudal ecológico son:

- a) Una mejora de las condiciones hidráulicas del río, pues se recupera en gran parte el régimen natural perdido, sin dejar tramos secos, y se garantiza un caudal continuo que favorece a la fauna, la flora y los usuarios del río. Al mismo tiempo se cumple la legislación.
- b) Se genera nueva energía renovable con el mínimo impacto ambiental, porque se aprovechan en su mayor parte instalaciones existentes y la energía del caudal ecológico, que de otra manera se perdería, cumpliendo así el mandato del máximo aprovechamiento de la energía, establecido en la Ley de Aguas. Con esta repotenciación se consigue un mayor uso de la cuenca y se evitan vertidos.
- c) Las ventajas para el explotador:
 - se explotan las instalaciones existentes, por lo que el coste por kilovatio instalado es relativamente bajo. El número de horas de utilización puede ser alto, de 5.000 a 8.000 horas/año, en función del régimen mensual de caudales ecológicos establecido.
 - el rendimiento de los turbogrupos es también elevado, por lo que hay que diseñar las máquinas para que el máximo rendimiento se dé en el rango del caudal ecológico. Con este mecanismo, el explotador se adapta a la normativa medioambiental, sin pérdida de rentabilidad de su negocio.

En la actualidad se plantea implantar este tipo de centrales en muchas de las instalaciones existentes.

CASO 5 Red de distrito en Olot, Girona (España)	
Localización: Olot, Girona (España)	Años: 2015
Empresa: Gas Natural Servicios (Gas Natural Fenosa), Wattia, Diputación de Girona	
Subsector energético: Generación y distribución	
Infraestructura: Red de distrito multienergía	
Alcance territorial: Barrio municipal	Fase de proyecto: Implantado
<p>Contexto</p> <p>Gas Natural Servicios, Wattia y la Diputación de Girona implantan en el centro histórico del municipio gerundense de Olot una red de distrito capaz de producir frío, calor y electricidad con un combinado de energías renovables y sistema de soporte a gas natural.</p> <p>Se ha construido una red de 1,8 km en el centro de la ciudad, formada por una isla energética central con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • caldera de biomasa (2 unidades, con una potencia total de 600 kW); • sistema de geotermia (24 pozos, con una potencia total de 180 kW y 2,4 km de intercambio); • sistema solar fotovoltaico (28,4 kWp); • sistema de <i>backup</i> con gas natural (700 kW). <p>La red de calor y frío está creada inicialmente para dar suministro a cinco edificios municipales que suman un total de 40.000 m² climatizados. Estos son el Hospital de Sant Jaume, la Residencia Geriátrica Montsacopa, la Residencia Geriátrica de la Caridad, el Museo Comarcal de La Garrotxa y la Plaza Mercado (figura 3.14).</p>	
<p>Acciones realizadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El proyecto está construido al 100%. • El 90% se encuentra en funcionamiento. Tan solo está pendiente el presupuesto de ejecución de material (PEM) de los dos últimos edificios incorporados a esta red de distrito, el de la Fundación de Estudios Superiores de Olot (FES) y el del Casal de la Gent Gran. • Se han invertido 1,5 millones de euros. 	



Figura 3.14. Red de calor y frío en cinco edificios del centro urbano de Olot, Girona (España).

Fuente: Gas Natural Fenosa (2016).

Resultados

- El nuevo mercado se ha construido con criterios de optimización de la *eficiencia energética*. El edificio tiene una estructura de cristal que lo envuelve y ayuda a regular la temperatura interior, y que permite que se filtre un 28% de luz solar, además de ser un eficaz aislamiento durante los meses más fríos.
- El proyecto, bautizado como District Heating and Cooling (DH&C), incluye la llamada *sala de energías*, un espacio educativo creado para mostrar la sala de producción de energía con las diferentes fuentes (figura 3.15).
- El gasto operativo anual se prevé en 20.000 €.
- La demanda cubierta es de 3,5 GWh/año (calor = 3,2 GWh y frío= 0,3 GWh). Y la generación de energía eléctrica es de 36 MWh/año, destinada al cien por cien del consumo propio.



Figura 3.15. Caldera de biomasa y acumulador de calor y frío.

Fuente: Fotografías de Gas Natural Fenosa (2016).

- Se prevé un ahorro en el municipio de 50.000 € durante los primeros 13 años de funcionamiento y se evitará la emisión de 750 t/año de CO₂.
- El proyecto tiene un alto carácter social, con la creación de una empresa local de reinserción social, relacionada con la Cooperativa La Fageda, y destinada a la gestión forestal sostenible.

CASO 6 Estación regeneradora de agua del Camp de Tarragona (España)

Localización: Municipios de Tarragona y Vila-seca

Años: 2013-en curso

Empresa: AITASA (Aguas Industriales de Tarragona, S.A.)

Subsector energético: Regeneración de aguas residuales

Infraestructura: Estación regeneradora de agua (ERA)

Alcance territorial: Polo químico del Camp de Tarragona

Fase de proyecto: En operación, con ampliaciones previstas

Contexto

El Camp de Tarragona (España) ha sufrido durante muchos años un déficit crónico de recursos hídricos, por lo que está prevista la instalación para el abastecimiento de agua regenerada a las industrias que conforman el complejo químico industrial de Tarragona.

Al inicio del proyecto se previó el suministro de 2 hm³/año de agua regenerada en el 2013, para alcanzar los 6,8 hm³/año de capacidad nominal en los años siguientes.

Esta agua se utiliza para torres de refrigeración, producción de agua desionizada, agua de calderas y agua de proceso. En los dos polígonos del parque petroquímico, ubicados en el Camp de Tarragona (figura 3.16), se fabrican el 44% del plástico y el 25% de la producción química española.

Acciones realizadas

En el año 2002 se produjo la primera demanda de agua regenerada por parte de las industrias y en 2012 terminó el proceso administrativo.

Durante los años 2008 y 2009 se llevó a cabo el proyecto de demostración, y entre 2010 y 2011 se invirtieron 47 millones de euros procedentes de los fondos de cohesión de la Unión Europea, la Agencia Catalana del Agua (ACA) y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España.

El agua procede del efluente secundario de la depuradora situada en los municipios de Tarragona y Vila-seca sufre un tratamiento adicional mediante los equipos siguientes: Actiflo, DiscFilter, filtro multimedia, filtro de arena, adición de agente antiincrustante, ósmosis inversa I, ósmosis inversa II, desinfección por radiación ultravioleta y adición de hipoclorito sódico.



Figura 3.16. Polos petroquímicos de Tarragona.
Fuente: Fotografías de AITASA (2013).

Resultados

La producción se inició en septiembre/octubre de 2012, momento en que el proyecto fue transferido a la compañía operadora, Aguas Industriales de Tarragona, S.A. (AITASA), mediante una concesión por 25 años que incluye la red de distribución (figura 3.17).

El coste del agua regenerada se fijó mediante una negociación entre AITASA y la ACA con el fin que los usuarios industriales la dispusieran al mismo coste que el agua procedente del Consorcio de Aguas de Tarragona.

El agua producida cumple las especificaciones del Real Decreto 1620/2007 para usos industriales.



Figura 3.17. Red de distribución de agua regenerada en la estación del Camp de Tarragona (España).
Fuente: Fotografía de AITASA (2013).

CASO 7 Agua regenerada para fabricación de papel prensa reciclado

Localización: Madrid (España)

Años: 2005-en curso

Empresa: Holmen Paper Madrid*, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Canal de Isabel II (CYII)

Subsector energético: Producción de materias primas

Infraestructura: Reutilización de agua residual

Alcance territorial: Local

Fase de proyecto: Operativo

Contexto

Holmen Paper Madrid, fabricante de papel de periódico y revista, es la empresa de mayor consumo de agua de la región (0,9% del total de la Comunidad Autónoma de Madrid y 17,3% del total del consumo industrial de la citada comunidad). Corresponde a la fabricación de 470.000 t/año de papel prensa, salmón y prensa mejorado (revista).

Ante los episodios de sequía y la dificultad de suministro de agua de la Comunidad de Madrid, la empresa puso en marcha en 2005 un estudio para evaluar la viabilidad técnica y económica del posible uso de agua regenerada a partir del efluente de una estación depuradora municipal.

En Holmen Paper Madrid, el 61% del agua de alimentación se usa en los rociadores de la máquina de papel, que requieren agua de alta calidad para evitar la formación de depósitos en el sistema. Los rociadores forman aerosoles que entran en contacto con los operarios; a causa de este peligro, se estudió un tratamiento de doble membrana seguido de una desinfección para garantizar la seguridad del agua regenerada.

Acciones realizadas

Después de los estudios pertinentes, se pudo sustituir el 100% del agua de alimentación de la planta (suministro urbano) por agua recuperada de la depuradora de Arroyo Culebro (que tiene una capacidad de 12.400 m³/día). Esta es el agua que se emplea en la fábrica (figura 3.18) que cuenta con una planta de cogeneración de 47 MW (desde 2001) y una segunda de 37 MW (desde 2010), que sustituyeron tres calderas, y que consume principalmente electricidad y gas natural, aparte del agua para generar vapor.

* La instalación ha sido adquirida por International Paper en julio de 2016.



Figura 3.18. Instalaciones de Holmen Paper Madrid, en Fuenlabrada (España).
Fuente: Holmen (2016).

Resultados

Se ha mejorado la gestión interna del agua mediante:

- el cierre de circuitos y la reutilización, con una reducción de consumo de 15,7 a 9,5 m³/t;
- la ultrafiltración de las aguas blancas, con una reducción de consumo de 9,5 a 7,5 m³/t.

Como se ha indicado, se buscaron recursos alternativos de agua, y se aplicó:

- la reutilización de los efluentes de la planta en los casos en que era posible;
- el uso de agua regenerada.

Para el estudio se firmó un convenio con la UCM y el CYII (2006), que incluyó, por un lado, un estudio de viabilidad y, por otro, un estudio específico de cumplimiento del Real Decreto 1620/2007 de reutilización de aguas depuradas –que se publicó después de la firma del convenio–.

Por lo que respecta a la gestión y ahorro de energía:

- el sistema dispone de dos plantas de cogeneración;
- en 2009 obtiene la certificación de gestión energética según la norma UNE216301;
- desde 2007 cuenta con la Autorización Ambiental Integrada (AAI);
- tiene instalados varios intercambiadores de calor vahos-agua y vahos-aire para recuperación de calor;
- se transfiere la electricidad sobrante a la red de transporte de la Comunidad de Madrid;

- el ahorro respecto a las instalaciones anteriores al año 2000 se estima en 60.000 MW/año, equivalente a 1,2 10%/año. El retorno de la inversión se estimó en 1,9 años.

El proyecto de uso de agua regenerada, como el que se esquematiza en la figura 3.19, tuvo en cuenta:

- las posibilidades de sequías recurrentes y que el suministro fuera interrumpido por la prioridad del uso para agua potable;
- el coste muy elevado de emplear agua potable (calidad innecesaria para el proceso);
- los consumos aún elevados después de la optimización del sistema de gestión de recursos;
- la responsabilidad ambiental de la empresa, que con este sistema contribuye a la conservación de recursos naturales (menor extracción y reducción de vertidos).

Un estudio de viabilidad en estos casos requiere:

- análisis *técnico*: casos anteriores, relación entre usos y calidad (optimización de tratamientos), empleo de las mejores tecnologías disponibles;
- análisis de *seguridad* (salud-higiene): analítica química y microbiológica, análisis de peligros/riesgos, aplicación de la legislación;
- análisis *económico*: consumos necesarios, análisis coste-beneficio, convenio de suministro del agua regenerada.

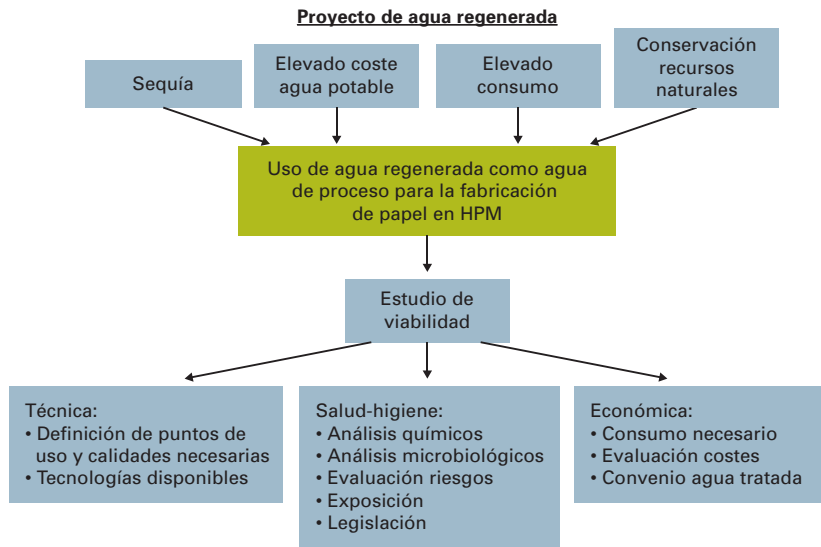


Figura 3.19. Esquema de un proyecto de agua regenerada.

Fuente: Holmen (2014).

CASO 8 Eficiencia energética en actividades agrarias de regadío

Localización: España

Años: 2016

Subsector energético: Agricultura

Infraestructura: Sistemas de regadío

Alcance territorial: Zonas agrícolas de regadío

Fase de proyecto: Ideas

Contexto

Actualmente, España tiene el regadío más tecnificado del mundo y supone un 2,3% del consumo nacional de electricidad, concentrado sobre todo en primavera y verano. Esta tecnificación se ha llevado a cabo en los últimos decenios con un objetivo doble: la mejora de la eficiencia del uso tanto del agua como de la energía.

Hay que indicar que en el período comprendido entre 1970 y 2007:

- El uso del agua en el regadío se redujo un 21% (de 8.250 a 6.500 m³/ha).
- El consumo energético aumentó un 657% (de 206 a 1.560 kWh/ha).

Entre 2005 y 2009, la factura eléctrica de las comunidades de regantes modernizadas aumentó un 82%. En 2008 se canceló la tarifa eléctrica para regadío y, desde entonces, se trata al regadío como a cualquier otro uso de la electricidad, a pesar de que la tarifa se paga todo el año pero solo se usa durante la temporada de riego.

Las políticas energéticas actuales en España parecen avanzar hacia una *tarifa plana*, con un notable aumento del término de potencia.

Los hechos de consumo energético en el regadío en España se especifican en la tabla 3.1.

Los datos obtenidos demuestran claramente que:

- a) El origen del agua tiene una clara influencia en los costes de energía, y se puede establecer una gradación.
- b) El riego por goteo es el que consume menos recursos (hay menos pérdidas de agua en el sistema suelo/subsuelo y menos pérdidas por evaporación).
- c) El agua desalada debería ser el último recurso, ya que es la que consume más energía. Suele emplearse para cultivos con un elevado precio de venta.

Tipo de riego	Gravedad	Aspersión	Goteo
Uso del agua (m ³ /ha)	7.500	6.500	5.000
Consumo energético (kWh/m³) según origen del agua			
Subterránea	0,15	0,49	0,68
Superficial	0,02	0,29	0,28
Trasvasada	1,20	1,44	1,38
Desalada	3,70	3,94	3,88
Regenerada	0,25	0,49	0,43

Tabla 3.1. Consumo energético en el regadío.
Fuente: modificado de Playán.

Acciones sugeridas

Se proponen algunas ideas de desarrollo para mejorar la eficiencia de los regadíos:

- Diseñar estaciones de bombeo colectivas (> 200 kW).
- Analizar la evolución del consumo energético en el regadío y su impacto en las cuentas de explotación.
- Diseñar redes de riego con bajas necesidades energéticas y capacidad de adaptación a cambios de tarifas.
- Rediseñar redes existentes para adaptarlas a las nuevas situaciones energéticas con mínimo coste.
- Abordar el diseño de sistemas de riego en parcela: combinar baja presión y alto rendimiento.
- Elaborar pautas de manejo de la red colectiva: combinaciones localmente óptimas de coste energético y prestaciones.
- Diseñar tarifas de agua de riego en la comunidad de regantes que ayuden a disminuir los costes energéticos.
- Desarrollo e implantación del riego centralizado automático en las comunidades.

Otras indicaciones

Para rebajar la factura de la energía, es preciso cambiar la gestión de las comunidades de regantes y/o mejorar sus infraestructuras.

Para ello hay diversas medidas que se deben estudiar e implantar si es adecuado:

- Utilizar el agua de forma más eficiente (menor consumo por unidad de producción).
- Salir del sistema (de la red): renovables en isla.
- Reducir la energía necesaria en el aspersor o gotero.
- Hacer disminuir las pérdidas de energía en la red privada.
- Hacer disminuir las pérdidas de energía en la red colectiva (comunidades).
- Reducir la superficie de riego con bombeo.
- Sectorizar la red colectiva:
 - dividir la red en zonas de diferentes necesidades energéticas.
- Usar el agua en el momento del día en que la electricidad es más barata (noche, festivos, etc.).
- Rebajar la demanda punta de la red de riego:
 - planificar cultivos para evitar picos de demanda que requieran contratar mucha potencia;
 - fomentar cultivos en periodos no habituales;
 - asumir posibles pérdidas económicas a corto plazo, pero es una vía hacia la sostenibilidad.
- Mejorar la eficiencia de riego:
 - no bombear el agua que no produce beneficios;
 - reducir los picos de baja eficiencia, cuando los datos medios de eficiencia son buenos pero la dispersión es muy grande.
- Mejorar la eficiencia de bombeo:
 - muchas zonas pueden mejorar un 20% su factura.
- Gestionar el riego con demanda negociada (en el tiempo):
 - se pierde libertad, se ahorran recursos;
 - nunca diseñar a la demanda para gestionar por turnos.
- Gestionar el riego de forma centralizada:
 - emplear autómatas.
- Contratar menos energía (reducir el factor de potencia).
- Utilizar la potencia contratada fuera de la temporada de riego:
 - problemas legales; actividades restringidas de las comunidades de regantes;
 - bombear a depósitos, calefactar agua rural o agrícola, procesar productos agrarios, etc.

CASO 9 Energía y agua consumida para fabricación de cerveza

Localización: Región de Murcia

Años: 2007-en curso

Empresa: Estrella de Levante (Damm)

Subsector energético: Fabricación de cerveza

Infraestructura: Implantación de mejoras energéticas dentro del proceso de fabricación

Alcance territorial: Regional

Fase de proyecto: Operativo

Contexto

Desde el año 1963, la marca de cerveza Estrella de Levante ha desarrollado un proyecto profesional y humano con un firme compromiso con la sostenibilidad.

En la compañía llevan años trabajando en reducir la generación de residuos, con medidas que posibiliten la valorización de los mismos, y se invierte en investigación, innovación y desarrollo para introducir nuevas tecnologías y procesos innovadores compatibles con una economía más sostenible.

Conscientes de que, principalmente, en la factura energética se hace realidad el hecho de “quien contamina paga”, Estrella de Levante dispone de un departamento dedicado a la gestión de la energía, que se encarga de idear e implantar medidas de eficiencia energética en los procesos productivos. Asimismo se ha introducido progresivamente el uso de fuentes de energía alternativas y renovables.

Hace años se fijó ese objetivo en toda la cadena de valor y se marcó la misión de cuidar el ciclo de vida de los productos, desde el origen hasta el consumidor final. Conocer el ciclo de vida precisa tener conocimiento del impacto ambiental de las actividades y productos en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y de consumo de agua, con el fin de establecer reducciones en el marco de su gestión. Por ello, en los últimos años, se ha calculado la huella hídrica y la de carbono del producto, y se ha certificado con AENOR.

Uno de los pilares de la actividad de Estrella de Levante es la ecoeficiencia, que consiste en producir lo mismo, pero consumiendo menos recursos naturales y generando menos emisiones y residuos. Por tanto, la fabricación de productos ecoeficientes dirigidos a un nuevo mercado exige la reducción de los costes energéticos y, a su vez, satisfacer las demandas de un nuevo perfil de consumidor respetuoso con el medio ambiente.

Entre las múltiples herramientas que han venido explotando en los últimos años destaca recientemente el concepto de *Industria 4.0*, que consiste, en esencia, en la adopción de la digitalización y del paradigma de “internet de las cosas” (IoT, *Internet of Things*) aplicado al entorno industrial.

Estrella de Levante inició sus trabajos hacia la ecoeficiencia a finales de los noventa, con la instalación en Murcia (España) de la primera depuradora biológica capaz de abastecerse totalmente con energía renovable, sin necesidad de comprar energía adicional para su funcionamiento.

Hoy, se trabaja para reducir y optimizar considerablemente el uso de recursos naturales, y se han logrado metas que parecían inalcanzables hace años. Además, toda la energía que compran es de origen renovable y compensan sus emisiones de CO₂ con la plantación de árboles en distintos puntos de la Región de Murcia.

Estrella de Levante es la primera empresa en Europa en ser certificada en el cálculo de la huella hídrica. La empresa cervecera puede conocer cuál es el consumo exacto de agua por cada litro de cerveza que elaboran, gracias a un *software* desarrollado en colaboración con la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia y la Facultad de Agrónomos de la Universidad de Cartagena.

Calcular y reducir la huella hídrica supone trabajar codo con codo con los agricultores, ya que el 95% del agua con la que se produce la cerveza se emplea en los campos de cultivo de cebada.

Así, en cada uno de los campos de cultivo han sido instalados sensores hídricos capaces de informar del grado de humedad del cultivo y la necesidad o no de regar en un momento determinado.



Figura 3.20. Fábrica de Estrella de Levante en Espinardo (Murcia) (2016).

Con esta información se puede asesorar a los agricultores sobre cuál es el mejor momento para el uso óptimo del agua en la siembra o en el riego. También se puede definir cuándo usar los fertilizantes y los productos fitosanitarios. El objetivo es consumir la menor cantidad de agua posible.

El camino hacia el éxito en materia de sostenibilidad no solo viene marcado por lo que hacen sino también por cómo lo comunican. Estrella de Levante se marcó el reto de contribuir a la economía local gracias a la generación de empleo, participación en actividades socioculturales, gastronomía, deporte o música, y busca también comunicarse de manera proactiva con los agentes de interés y los consumidores sobre cuál es el camino que garantiza un modelo productivo sostenible; para ello emprende acciones de divulgación en publicaciones, vídeos, conferencias, redes sociales, acerca de cualquier avance en sostenibilidad (figura 3.21).



Figura 3.21. Vídeo divulgativo en el que ingenieros del departamento de optimización, energía y medio ambiente de Estrella de Levante explican cómo la sostenibilidad se aplica en los diversos procesos productivos.

Enlace al vídeo mediante el código QR o <https://youtu.be/T5e4ZX2rP5Y>.

Fuente: Estrella de Levante (2016).

Acciones realizadas

- **Sistema de indicadores de consumos.** Los 300 contadores repartidos por toda la fábrica permiten conocer en tiempo real el consumo de agua, gas, electricidad, aire comprimido y frío; pero sobre todo, ayudan a imaginar nuevas maneras de reducir el gasto.
- **Reaprovechamiento del calor.** En determinados procesos de la elaboración de la cerveza se genera una importante cantidad de calor, que se aprovecha en otros procesos o secciones de fábrica. Por ejemplo, el calor de la cocción de la cebada malteada se usa para posteriores ebulliciones o sirve de aporte de calor a maltería, envasado o, aplicando el concepto *district heating*, a la calefacción de oficinas.
- **Uso optimizado de la luz natural.** Murcia cuenta con más de tres mil horas de sol al año. Para aprovecharlas, ha instalado un sistema especial de luz solar en la nave de envasado de latas con un consumo de energía cero. En el resto de la fábrica, y en las zonas donde la luz natural no es posible, la iluminación tradicional ha sido sustituida por bombillas LED y fluorescentes de bajo consumo.

- **De subproductos a coproductos.** Además de reutilizar la energía que se genera en la instalación, se valorizan los subproductos hasta convertirlos en coproductos que tengan una nueva utilidad. Por ejemplo,
 - El bagazo obtenido en la sala de cocción se envía como alimento a explotaciones vacunas.
 - El CO₂ generado durante la fermentación es reutilizado en el propio proceso.
 - La levadura empleada se utiliza como alimento para el ganado porcino.
 - El vidrio rechazado por las líneas de envasado es enviado a la vidriera para producir nuevos envases.

Innovar para mejorar

Planta biosostenible

En el año 2014, la empresa inaugura en Cañada Hermosa, Murcia, la planta piloto BioSOSostenible, galardonada por el Ministerio de Medio Ambiente con el Premio Proyecto Clima como iniciativa que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En Cañada Hermosa se investiga a diario para darle una segunda vida a los residuos provenientes de la elaboración de la cerveza:

- *Biometano:* en el futuro, este combustible sostenible será capaz de abastecer la flota de vehículos de recogida de residuos de la ciudad de Murcia.
- *Bioenmienda:* este producto ayuda a regenerar las tierras usadas para el cultivo de la cebada.

Otros proyectos de innovación

Además de la planta BioSOSostenible, la empresa colabora en otros dos proyectos; uno con la Universidad de Birmingham (Reino Unido), consistente en la acumulación de energía para su posterior uso, y otro con la Universidad de Murcia (España) para elaborar un complemento alimenticio para las doradas de piscifactoría a partir de las levaduras sobrantes, al tener estas la propiedad de favorecer el sistema inmunológico de los peces.

Revolución industrial 4.0

Apostar por la innovación también implica estar inmersos en la denominada cuarta revolución industrial, *Industria 4.0*: la del internet de las cosas aplicado a los sistemas productivos. En Estrella de Levante se trabaja para desarrollar e implementar avanzados sistemas de información en todas las unidades productivas de la factoría, con el objetivo de optimizar la recogida y la gestión de datos. Con ello, se incrementa la eficiencia de cada proceso, lo que a su vez supone un menor consumo energético.

El corazón de Estrella de Levante

El avance de Estrella de Levante en el terreno de la ecoeficiencia y la sostenibilidad va íntimamente ligado al esfuerzo de cada uno de sus empleados. Gracias a un plan de formación continuo, Estrella de Levante cuenta con una plantilla concienciada con la calidad y el trabajo seguro, al tiempo que mantiene un fuerte compromiso con el medio ambiente. De hecho muchos de ellos vienen a trabajar en bicicleta gracias al convenio firmado con el Ayuntamiento de Murcia y participan de manera proactiva formulando múltiples propuestas de mejora a través de un buzón de sugerencias.

Resultados

El esfuerzo por conseguir la ecoeficiencia en todos y cada uno de los procesos de elaboración de la cerveza y la progresiva implantación de nuevas técnicas, a veces adaptadas desde otros sectores, han llevado a Estrella de Levante a alcanzar resultados que hablan por sí mismos.

- 60% menos gasto en agua*;
- 65% menos gasto en gas;
- 35% gasto en electricidad;
- 53% menos emisiones de CO₂.

* El equivalente al consumo de 7 días en la ciudad de Murcia.

Bibliografía

Asian Development Bank (ADB): *Thinking about water differently: Managing the water-food-energy nexus*. ADB Institute, 2013.

Bazza M., Angelakis A., Krasilnikoff J., Salgot M., Roccaro P., Jiménez B., Kumar A., Yinghua W., Xiaoyu Z., Baba A., Harrison J.A., Palerm J., Garduno A.: Evolution of irrigation and drainage of agricultural land in the globe through the millennia (en prensa).

Cross J., Freeman J.: *2008 Geothermal Technologies Market Report*. Geothermal Technologies Program of the US Department of Energy, 2009; 46.

FENACORE - FEderación NAcional de COmunidades de REgantes de España: XIII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, 2014.

FERAGUA - Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía: Jornada sobre Sostenibilidad Ambiental en el Regadío, 2014.

GE Global Research: “GE Announces Break-Through improvement in power conversion, weight and volume”, 2010. Disponible en http://www.geaviation.com/press/systems/systems_20110620.html

Guerrero M., Schifter I.: *La huella del agua*. México: Fondo de Cultura Económica, Colección La ciencia para todos, 2011; 230.

Hardy L., Garrido A.: “Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España”. *Papeles de Agua Virtual. Observatorio del Agua* núm. 6. Santander: Fundación Marcelino Botín, 2010.

He X., Barnett B.: “Manage energy use for sustainable pump operation”. *Opflow* 2014; 40 (10): 18-21.

International Conference on Water and the Environment: *Dublin Statement on Water and Development*. UN Documents. Dublín, 31/1/1992.

Kaldellis J.K., Zafirakis D.: “Optimum energy storage techniques for the improvement of renewable energy sources-based electricity generation economic efficiency”. *Energy* 2007; 32: 2295-2305.

King W., Stillwell S., Twomey M., Webber E.: “Coherence between water and energy policies”, Working Party on Global and Structural Policies. Documento de trabajo OCDE, 2010.

Kretschmer F., Weissenbacher N., Ertl T.: “Integration of wastewater treatment plants into regional energy supply concepts”. *Sustainable Sanitation Practice* 2015; 22: 4-9.

Maestu J., Gómez M.: “El binomio agua-energía: retos, soluciones e iniciativas de las Naciones Unidas”. *WM - Agua y energía* 2014; 2: 4-13.

Morante J.R.: *El almacenamiento de la electricidad*. Sabadell: Fundación Gas Natural Fenosa, Colección Energía y medio ambiente núm. 26, 2014.

Olsson G.: *Water and energy: Threats and opportunities*. Londres: IWA Publishing, 2012.

Playán E.: “Caso práctico 3. Iniciativas de eficiencia energética en las actividades agrarias y ganaderas”. *Energía y agua: la creación de valor compartido*, Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya y Fundació Gas Natural Fenosa, 2014.

Tidwell V.C., Moreland B., Zemlick K.: “Geographic footprint of electricity use for water services in the western U.S.”. *Environmental Science and Technology* 2014; 48 (15): 8897-8904.

Unesco: Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, *Agua para todos Agua para la vida*. Unesco, 2016.

Glosario (nexo agua-energía)

- **Aceite térmico:** fluido de uso generalizado en el sector industrial utilizado como medio de transporte de calor para distintos tipos de procesos. Existen varios tipos de aceites térmicos en función de los parámetros de operación, principalmente la temperatura.
- **Aerocondensador:** sistema de refrigeración basado en el intercambio de calor entre la atmósfera y el vapor de la salida de una turbina. El vapor pasa a través de haces tubulares que aumentan la superficie de contacto y se enfría en contacto con el metal del aerocondensador, enfriado a su vez por la corriente de aire que provocan grandes ventiladores, colocados en horizontal.
- **Agua:** sustancia líquida incolora, inodora e insípida que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando cuerpos de agua; ocupa las tres cuartas partes de la superficie del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H₂O).
- **Alcantarillado:** (red de alcantarillado o red de saneamiento): sistema de tuberías y construcciones para la recogida y transporte de las aguas residuales, industriales y pluviales de una población desde que se generan hasta el punto de vertido o tratamiento.
- **Almacenamiento de electricidad:** método para conservar electricidad y liberarla cuando se requiera en la forma en que se recolectó o en otra diferente. La forma de energía pueden ser potencial (gravitacional, química, elástica, etc.) o cinética.
- **Aspersión:** modalidad de riego a presión mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de “lluvia” localizada.
- **Biocarburentes:** mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Derivan de la biomasa.
- **Biogás:** es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos u otros procesos, en ambiente anaerobio.

- **Biomasa:** producto obtenido por fotosíntesis, susceptible de ser transformado en combustible útil para la generación de energía.
- **Bomba centrífuga:** es la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y transforman la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El agua entra por el centro del rodete que lo conduce mediante álabes y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsada hacia el exterior, donde es recogida por la carcasa o cuerpo de la bomba o por el siguiente rodete. Finalmente es impulsada al exterior.
- **Bomba de calor geotérmica:** aprovecha la temperatura estable del terreno para proporcionar calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente durante todo el año.
- **Bomba manual:** máquina capaz de convertir la energía mecánica (humana) en energía del fluido incompresible que mueve. Se usan en todo el mundo para elevar agua desde relativamente poca profundidad (pozos, piscinas, depósitos, etc.). Están compuestas por un émbolo unido por una varilla a una palanca situada en la parte superior. Al subir y bajar la palanca se acumula agua en el interior hasta alcanzar la salida.
- **Célula fotovoltaica:** dispositivo electrónico que transforma energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica.
- **Central de carbón:** instalaciones para generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión de carbón.
- **Central de ciclo combinado:** central eléctrica en la que la energía térmica del combustible es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos: el correspondiente a una turbina de gas, generalmente gas natural, mediante combustión (ciclo Brayton) y el convencional de agua/turbina de vapor (ciclo de Rankine).
- **Central de gas natural:** instalaciones para generación de energía eléctrica mediante la combustión de gas natural. En las denominadas de ciclo combinado se transforma la energía térmica del gas natural en electricidad mediante dos ciclos consecutivos: el que corresponde a una turbina de gas convencional y el de una turbina de vapor.
- **Central de lecho fluidizado:** tecnología de combustión usada en centrales eléctricas. Permite flexibilidad en el combustible: carbón, biomasa, basura, etc.; y un mayor aprovechamiento del mismo, con mejor transferencia del calor producido. Un lecho fluido está for-

mado por combustible en trozos (aproximadamente un 2-5% del peso total) y el lecho propiamente dicho (cenizas, piedra caliza, material adicional, etc.). El lecho no debe fundir, por lo que la temperatura se limita a 850-900 °C. El lecho fluido sustenta el combustible sólido mientras se impulsa aire hacia arriba durante la combustión. El resultado es la formación de remolinos que favorecen la mezcla del gas y del combustible.

- **Central geotérmica:** instalación donde se genera electricidad empleando energía geotérmica.
- **Central hidráulica o hidroeléctrica:** instalación diseñada para generar electricidad aprovechando la energía potencial del agua almacenada en un embalse situado a mayor altura que la central.
- **Central hidroeléctrica ecológica:** central hidroeléctrica que considera la necesidad de mantener un caudal permanente mínimo (ecológico) que garantice la preservación del ecosistema fluvial aguas abajo del aprovechamiento.
- **Central nuclear:** instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la fisión de combustibles nucleares. Esta fisión genera calor que a su vez es empleado, mediante un ciclo termodinámico convencional.
- **Central térmica:** instalación que emplea el calor generado con combustibles fósiles, mediante un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.
- **Ciclo antrópico del agua:** procesos desde la captación del agua en el ciclo natural hasta su devolución a la naturaleza. Incluye captación, tratamiento, transporte y distribución, uso, saneamiento, depuración, reutilización y vertido final al medio. Está muy relacionado con la energía.
- **Ciclo biogeoquímico:** vía en la cual una sustancia química se mueve en los componentes biótico y abiótico de la Tierra. Elementos, compuestos químicos y otras formas de la materia pasan de uno a otro organismo y de una parte de la biosfera a otra siguiendo los ciclos biogeoquímicos. Un *ciclo* indica una serie de cambios que vuelven al punto de salida y pueden repetirse. El término *biogeoquímico* conlleva que los factores biológicos, geológicos y químicos están implicados.
- **Ciclo de Rankine:** ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, lo que constituye el denominado ciclo de potencia.

- **Ciclo natural del agua** o ciclo hidrológico: describe el movimiento continuo del agua en, sobre y debajo de la superficie de la Tierra. Implica el intercambio de energía entre las fases del agua y para desplazarla.
- **Colector de energía solar térmica:** dispositivo diseñado para recoger la energía radiante y convertirla en energía térmica. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y agua caliente sanitaria, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir vapor que mueve una turbina que generará energía eléctrica.
- **Combustibles fósiles:** se consideran cuatro: petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo. Se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales.
- **Depuración:** sistemas de tratamiento de las aguas usadas en poblaciones, industrias, operaciones agrícolas, etc., mezcladas o no con aguas de lluvia o de otros orígenes. Las instalaciones de depuración se denominan *estaciones depuradoras de aguas residuales* (EDAR) y su objetivo es reintegrar el agua al medio en condiciones de calidad adecuadas.
- **Digestión anaerobia:** proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno por la acción de microorganismos. Se generan en este proceso diversos gases, principalmente dióxido de carbono y metano (combustible), en función del material degradado. También se puede formar ácido sulfhídrico, que crea problemas de gestión.
- **Electricidad:** conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas. Se manifiesta en una gran variedad de fenómenos como los rayos, la electricidad estática, la inducción electromagnética o el flujo de corriente eléctrica.
- **Embalse hidráulico reversible:** central hidroeléctrica que además de poder transformar la energía potencial del agua en electricidad, tiene la capacidad de hacerlo a la inversa, es decir, aumentar la energía potencial del agua (por ejemplo subiéndola a un embalse) consumiendo para ello energía eléctrica. De esta manera puede utilizarse como un método de almacenamiento de energía (una especie de batería gigante). Están concebidas para satisfacer la demanda energética en horas pico y almacenar energía en horas valle.
- **Energía:** capacidad de realizar un trabajo. Se definen energía mecánica, electromagnética, calorífica, y otros tipos de energía potencial (cinética, química, etc.).

- **Energía cinética:** energía que posee un cuerpo debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad.
- **Energía de autoconsumo:** producción individual a pequeña escala de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares, aerogeneradores, etc.
- **Energía de la biomasa:** energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente es extraída de los residuos que generan los seres vivos (plantas, animales, entre otros). El aprovechamiento se hace directamente o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos.
- **Energía de las mareas:** se obtiene aprovechando la energía asociada al movimiento de agua de las mareas. Mediante el uso de un alternador se puede generar electricidad, aprovechando los flujos de agua en zonas con mareas en que la diferencia de altura entre pleamar y bajamar es considerable.
- **Energía de las olas:** energía que permite la obtención de electricidad a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas. Es uno de los tipos de energías renovables más estudiados actualmente; presenta ventajas frente a otras energías renovables ya que es más fácil predecir condiciones óptimas en oleaje que condiciones óptimas en vientos.
- **Energía final:** consumida en el hogar, empresa, vehículos de transporte, etc. Tiene forma de calor, frío, luz y fuerza, agua caliente y desplazamientos de personas y mercancías.
- **Energía geotérmica:** energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor propio de formaciones geológicas.
- **Energía hidroeléctrica:** electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento.
- **Energía intermedia:** ha sufrido las transformaciones necesarias para ser consumida. Son los vectores energéticos, principalmente electricidad y combustibles. También los paneles solares se utilizan para transformar la energía primaria del Sol en energía eléctrica intermedia.

- **Energía primaria:** toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Se definen las energías renovables (procedentes del Sol, viento, agua y biomasa) y las fósiles (uranio/plutonio, carbón, petróleo y gas natural).
- **Energía solar fotovoltaica:** fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante una célula fotovoltaica.
- **Energía solar térmica de alta temperatura:** se aprovecha la energía del Sol para producir calor; aprovechable para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente. Esta puede estar destinada a calentar agua doméstica, sanitaria o para calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.
- **Energía útil:** aquella transformada en trabajo útil, en el equipo y los procesos correspondientes a los diferentes usos finales (movimiento de un automóvil, luz de una bombilla, calor del vapor como consecuencia de quemar combustibles fósiles, etc.)
- **Energía utilizable:** capacidad de trabajo que un sistema puede desarrollar intercambiando únicamente calor con su entorno. Es una propiedad termodinámica que permite determinar el potencial de trabajo útil de una determinada cantidad de energía que se puede alcanzar por la interacción espontánea entre un sistema y su entorno.
- **Entalpía (H):** magnitud termodinámica cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico; es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
- **Escala de peces:** sistema de transferencia para peces en una corriente de agua con obstáculos para el desplazamiento de la fauna piscícola. Suele ser un canal con rugosidad artificialmente aumentada, que comunica el nivel del embalse aguas arriba de la presa con el nivel del río aguas abajo de la misma.
- **Estabilización de lodos:** proceso de degradación de la materia orgánica de los lodos de depuradora de manera que puedan gestionarse sin problemas sanitarios o ambientales. La estabilización puede ser química o biológica (aerobia o anaerobia). En el caso de la estabilización biológica se suele denominar *digestión*.
- **Estación de tratamiento de agua potable (ETAP):** conjunto de instalaciones de tratamiento de agua necesarias para que esta tenga la calidad adecuada para el consumo humano seguro.

- **Estación depuradora de aguas residuales (EDAR):** conjunto de instalaciones necesarias para tratar el agua residual hasta que su nivel de contaminación sea lo suficientemente bajo para devolverlo a la naturaleza.
- **Evaporación:** proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haberse acumulado suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápida cuanto más elevada sea esta.
- **Evapotranspiración:** pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.
- **Flujo de calor residual:** resultado ineludible de la operación de las máquinas que producen trabajo y de otros procesos que utilizan energía. La necesidad de muchos sistemas de disipar el calor producido como un producto secundario de su funcionamiento es consecuencia directa de las leyes de la termodinámica. El calor residual posee una utilidad menor (o en lenguaje termodinámico una menor energía o una entropía mayor) que la fuente de energía original.
- **Foggara o qanat:** infraestructura (de tipo minero) para la captación de agua subterránea y su transporte hacia el exterior. Consiste en un conjunto de pozos verticales (de acceso y aireación) conectados a una galería de drenaje ligeramente inclinada para llevar agua a cierta distancia, que puede ser de varios kilómetros.
- **Fractura hidráulica (*fracking*):** técnica para hacer posible o aumentar la extracción de gas y petróleo de formaciones geológicas (a menudo esquistos). Consiste en la perforación de un pozo vertical u horizontal, entubado y cementado, para generar canales de elevada permeabilidad inyectando agua a alta presión con diversos coadyuvantes, para superar la resistencia de la roca y abrir una fractura controlada en la formación con hidrocarburo.
- **Galería o galería de captación:** galería subterránea aproximadamente horizontal, construida para alcanzar un acuífero y cuya estructura está diseñada para captar aguas subterráneas. Puede terminar en una cámara de captación donde generalmente se instalan las bombas hidráulicas para extraer el agua acumulada.
- **Gas de esquisto o gas de lutita (*shale gas*):** hidrocarburo en estado gaseoso que se encuentra en las formaciones rocosas sedimentarias de grano muy fino.

- **Gas natural:** recurso energético convencional. Es una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros que se extrae, bien sea de yacimientos independientes (gas no asociado), o de yacimientos petrolíferos o de carbón.
- **Gasificación:** proceso termoquímico en el que un sustrato con carbono (carbón, biomasa, plástico) es transformado en gas combustible mediante reacciones en presencia de un gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno).
- **Gestión energética:** optimización en el uso de la energía buscando su uso racional y eficiente, sin disminuir el nivel de prestaciones.
- **Micro o minihidráulicas:** tipo de central hidroeléctrica, utilizada para la generación de energía eléctrica a pequeña escala, a partir de la energía potencial o cinética del agua. Según la cantidad de energía que pueden producir pertenecen a un tipo u otro.
- **Mix energético:** combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país.
- **Molino de viento:** máquina que emplea la energía del viento (eólica) para diferentes tareas. El viento actúa sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común al que hace girar. El eje se puede conectar a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad.
- **Nexo agua-energía:** aunque no existe una definición formal, el concepto indica la relación entre el agua utilizada para la producción de energía y la energía consumida en el ciclo antrópico del agua.
- **Nexo agua-energía-alimentación:** el agua y la energía están ligadas a la cadena de producción alimentaria, desde la producción agrícola y ganadera al transporte y procesamiento de alimentos. En este contexto se agrupan tres asuntos de seguridad global mutuamente dependientes: agua, energía y alimentos.
- **Panel solar:** conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre él mediante el efecto fotoeléctrico.
- **Pérdidas de energía:** gastos energéticos de operación de plantas, transporte, pérdidas, etc. La cantidad de energía primaria que entra en un sistema es siempre superior a la finalmente consumida.

- **Pila de combustible microbiana** (*Microbial Fuel Cell*, MFC): sistema bioelectroquímico capaz de digerir un amplio rango de sustancias orgánicas, incluyendo distintos tipos de aguas residuales, y generar energía eléctrica en el proceso de digestión. Las MFC son capaces de reducir la demanda química de oxígeno del agua residual al tiempo que producen electricidad a partir de esa materia contaminante eliminada.
- **Placa solar:** dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. Incluye colectores solares y paneles fotovoltaicos.
- **Planta optimizada de ciclo binario:** transfiere el calor del fluido geotérmico caliente ($105\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 185\text{ }^{\circ}\text{C}$) que se envía a través de un intercambiador de calor para vaporizar un fluido de trabajo secundario, como pentano o isobutano, en un ciclo orgánico Rankine.
- **Potabilización:** proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para hacerla apta para el consumo humano.
- **Pozo:** agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar el agua subterránea de una capa freática o fluidos como el petróleo.
- **Radiación solar:** conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol que gobiernan el clima de la Tierra.
- **Reciclado:** una vez utilizadas las aguas en un proceso, se vuelven a utilizar dentro de la misma instalación para el mismo u otro proceso, sin que se haya producido vertido al exterior. Se puede o no requerir un tratamiento del agua para cambiar su calidad.
- **Recursos energéticos:** toda sustancia de la cual se puede obtener energía a través de diversos procesos. El conjunto de los recursos energéticos puede ser agrupado en dos categorías generales en función de su proceso de formación y de su disponibilidad: fósiles y renovables.
- **Red de distrito:** permite suministrar calor, frío y electricidad a una red de climatización a escala de distrito con energía(s) de origen renovable y con un sistema inteligente de control automatizado.
- **Regeneración:** procesos, adicionales o no, de tratamiento de las aguas depuradas que permiten su reutilización.
- **Reutilización:** empleo de las aguas residuales regeneradas como recurso adicional, no convencional, para usos diversos. Se lleva a cabo principalmente en agricultura.

- **Riego a presión:** aplican el agua al cultivo con presión (aspersión, gota a gota superficial o subterráneo, tubería exudante, etc.).
- **Riegos convencionales:** aplican el agua al cultivo por inundación total o parcial de la superficie regada (inundación o a manta, surcos y caballones, subirrigación, etc.).
- **Rueda hidráulica/noria:** máquina hidráulica que sirve para elevar agua mediante el principio del rosario hidráulico. Es una rueda de cierto tamaño con aletas transversales situada en un curso de agua que le imprime un movimiento continuo. La rueda tiene en el perímetro una serie de cangilones que se llenan de agua y se elevan siguiendo el movimiento de la rueda. La depositan al alcanzar el nivel superior en un canal asociado o en un depósito.
- **Riego localizado:** consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo este, utilizando tuberías a presión y diversos tipos de emisores, de manera que solo se moja una parte del suelo, la más próxima a la zona radicular de la planta.
- **Roca seca caliente (HDR):** tipo de energía geotérmica en el que no existe naturalmente fluido portador de calor ni materiales permeables. Ambos factores son introducidos artificialmente por el hombre. [Véase Sistemas geotérmicos mejorados.]
- **Seguridad de generación de energía:** capacidad de los sistemas energéticos de ofrecer un flujo de energía (electricidad, gas natural, etc.) con un nivel determinado de continuidad y calidad, de forma sostenible y a precios asequibles.
- **Seguridad sanitaria del agua:** la consideración legal sobre la potabilidad de un agua se basa en establecer unos parámetros y fijar unos límites de calidad aceptables, desde el punto de vista sanitario. De una forma parecida se pueden fijar límites para otros usos (de ocio, ganadero o de riego) en las actividades que pueden tener incidencia directa o indirecta en la salud humana o de los animales.
- **Shaduf** (cigüeña en algunas regiones de España): máquina simple que, usada a modo de palanca, usualmente con contrapeso, sirve para elevar agua desde un río, canal, depósito o pozo.
- **Sistemas de soporte a la decisión (SSD) o sistemas de apoyo a la decisión (SAD):** programas y herramientas que permiten obtener la información necesaria en el proceso de toma de decisiones. Se basan en un proceso de minería de datos y en un algoritmo o programa de computación que facilita la información en un formato adecuado.

- **Sistemas geotérmicos mejorados (SGM):** generan electricidad geotérmica sin la necesidad de recursos naturales hidrotérmicos convectivos. Hasta hace poco, los sistemas de energía geotérmica habían explotado solo los recursos donde el calor natural, el agua y la permeabilidad de las rocas eran suficientes para permitir la extracción de energía. Sin embargo, la mayor parte de la energía geotérmica al alcance de las técnicas convencionales está en roca seca e impermeable. Las tecnologías EGS mejoran y/o crean recursos geotérmicos en esta roca seca caliente (HDR) a través de la “estimulación hidráulica”.
- **Torre de refrigeración:** estructura para refrigerar agua y otros medios con temperaturas muy altas. Las grandes torres de refrigeración industriales se emplean para reducir la temperatura del agua de refrigeración de las plantas de energía, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras instalaciones industriales.
- **Tornillo de Arquímedes:** máquina gravimétrica helicoidal para la elevación de agua. Formada por un tornillo que gira dentro de un cilindro o semicilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y permite elevar el fluido situado por debajo del eje de giro.
- **Transpiración:** evaporación de agua en la superficie de los organismos que viven en tierra firme o con parte de su estructura en la atmósfera. Las plantas terrestres, los hongos y los animales terrestres, entre otros, transpiran.
- **Tubería exudante:** sistema alternativo de riego que se basa en la utilización de tejidos de poliéster para el riego de cultivos debido a su capacidad “exudativa” bajo presión interna, creando una línea de tierra húmeda a disposición de la planta.
- **Turbina:** máquina formada por unas aspas solidarias con un eje, al que transmiten movimiento cuando reciben un fluido (agua, gas, vapor) a presión. Transforman la energía mecánica del fluido en energía eléctrica.
- **Vapor de agua:** gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es inodoro e incoloro.



www.fundaciongasnaturalfenosa.org