

**EL MICROLIBRO
DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
Y LA TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Francisco Jarabo



**El microlibro
de las
energías renovables
y la
tecnología ambiental**

Francisco Jarabo

ÍNDICE

I. ENERGÍAS RENOVABLES	5
Energía. Fuentes de energía. Energías renovables.	5
Energía solar	6
Energía eólica	7
Energía de la biomasa	8
Energía geotérmica	9
Energía hidráulica	10
Energía del mar	11
Ahorro energético, cogeneración y almacenamiento	12
II. TECNOLOGÍA AMBIENTAL	14
Medio ambiente. Efectos globales. Gestión ambiental	14
Contaminación atmosférica	16
Contaminación de las aguas	18
Residuos sólidos	21
Ruido	24
 Todo esto y mucho más (BIBLIOGRAFÍA) en	25

I. ENERGÍAS RENOVABLES

Energía. Fuentes de energía. Energías renovables.

Toda la civilización ha sido construida a partir del descubrimiento y dominio de nuevas fuentes de energía para el uso humano de una forma cada vez más eficiente y con medios cada vez más sofisticados. La **energía** es la medida de la capacidad de un sistema para proporcionar trabajo por medios mecánicos o calor por medios no mecánicos. Esta capacidad se manifiesta de diferentes formas (energía mecánica, energía interna) y se transporta según diferentes mecanismos (electricidad, radiación, calor), pero *no se puede crear ni destruir, sólo transformar* (Primer principio de la Termodinámica) y *se degrada continua e irreversiblemente hacia su manifestación de menor calidad: el calor* (Segundo principio de la Termodinámica).

Desde el punto de vista del consumo humano hay que distinguir entre la forma en que la energía se encuentra en la Naturaleza (**fuentes de energía** o energía primaria: combustibles fósiles, combustibles nucleares o recursos renovables) y la forma realmente deseada para su uso (**energía útil** o energía final: trabajo mecánico, electricidad, calor). La transformación de una forma en la otra depende de la tecnología disponible que, a veces, involucra formas intermedias que facilitan el transporte y la distribución (combustibles, electricidad) y siempre implican pérdidas, a veces muy importantes. Así pues, la disponibilidad de una fuente de energía y la madurez de la tecnología para su aprovechamiento serán los condicionantes principales para su explotación que, finalmente, se traducen a variables económicas.

Ello hace necesario diferenciar las **fuentes de energía** según su origen, distinguiéndose las fuentes no renovables, de origen terrestre, duración limitada y distribución irregular, y las fuentes renovables, que tienen su origen en el flujo continuo de energía que recibe la Tierra del Sol y que se disipan a través de ciclos naturales.

Las **energías no renovables** incluyen los combustibles fósiles actualmente utilizados (carbón petróleo, gas natural) y el uranio, combustible nuclear en las reacciones de fisión. Estas fuentes se consideran como *convencionales*, pero existen otras fuentes *alternativas*, que presentan lazos de parentesco geológico bastante

estrechos con el petróleo y que están en fase de investigación: las pizarras (o esquistos) bituminosas y las arenas asfálticas (o alquitranadas).

Las **energías renovables** son casi todas de origen solar, si bien en algunos casos existen otras contribuciones. La *energía solar directa*, la *energía eólica*, la *energía de la biomasa* y la *energía hidráulica* tienen su origen inmediato en el Sol; la *energía geotérmica* está contenida en el interior de la Tierra; la *energía del mar* tiene una manifestación gravitatoria, la energía de las mareas, y otras dos también de origen solar: la energía de los gradientes térmicos, provocados por insolación, y la energía de las olas, provocadas por los vientos.

Energía solar

La energía procedente del Sol que atraviesa la atmósfera sin experimentar cambios sensibles se denomina **energía solar directa**, siendo la que proporciona a los seres vivos calor y luz. El primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su **captación**, aspecto en el que pueden distinguirse los *sistemas pasivos* y los *sistemas activos*.

Los **sistemas pasivos** no necesitan ningún dispositivo para captar la energía, existiendo una íntima relación entre el Sol, el espacio y el uso posterior de la energía. Esta relación se logra aplicando elementos arquitectónicos como el **acristalamiento** (el vidrio permite el paso de la radiación visible exterior y se lo impide la infrarroja producida en el interior) y la **masa térmica** (la elevada capacidad calorífica de los sólidos permite la acumulación de energía). Los **sistemas activos** basan la captación en un dispositivo de determinadas características, denominado **colector**; si este elemento permite aprovechar el calor transportado por la radiación solar se habla de *conversión térmica*, mientras que si se utiliza directamente su energía luminosa para generar electricidad, se habla de *conversión fotovoltaica*.

La **conversión térmica** puede realizarse a bajas temperaturas, calentando agua por debajo de su punto de ebullición en los llamados **paneles planos** para su uso doméstico. Si se concentra la radiación solar mediante **colectores cilindro-parabólicos** se obtienen temperaturas medias (hasta 300°C) en fluidos que se usan

para aplicaciones industriales. Altas temperatura se logran en la **centrales solares**, en las que un gran número de espejos (heliostatos) refleja los rayos solares sobre una caldera, por la que circula un fluido portador del calor que lo cede a un circuito de generación de electricidad.

La **conversión fotovoltaica** se lleva a cabo en distintos tipos de materiales semiconductores, las **células fotovoltaicas**, que se agrupan en paneles; estos paneles conectados en serie o en paralelo permiten obtener casi cualquier valor de tensión y de corriente eléctrica (continua), que se almacena en baterías o se transforma en corriente alterna para su conexión a la red.

Energía eólica

El calentamiento desigual de la superficie de la Tierra produce zonas de diferente presión atmosférica. Este desequilibrio provoca corrientes de aire (viento) que contienen energía cinética, denominada **energía eólica**. Su transformación en energía útil (mecánica o electricidad) se lleva a cabo mediante *máquinas eólicas*.

La **máquinas eólicas** han de estar colocada sobre un **soporte**, que debe tolerar el empuje del viento. Su energía la extrae del **sistema de captación** o *rotor*, formado por un determinado número de palas (caracterizadas por su longitud, perfil, calaje y anchura), dispuestas sobre un eje horizontal o, a veces, vertical. El rotor se sitúa en la dirección del viento mediante un **sistema de orientación**, formado por una cola, rotores auxiliares o servomotores, y su giro es controlado por el **sistema de regulación**, que actúa sobre el rotor (puesta en bandera, paso variable, acción centrífuga, calaje de la pala) o sobre el eje (frenos de zapatas, discos o electromagnéticos). El **sistema de transmisión** se encarga de llevar la energía desde el eje del rotor hasta el eje del generador con ayuda de poleas o engranajes. Aunque la energía mecánica transmitida desde el rotor puede utilizarse como tal, generalmente acciona un **sistema de generación** eléctrico, de corriente continua o, más frecuentemente, de corriente alterna (generadores síncronos o asíncronos).

Si bien es frecuente el uso de pequeños aerogeneradores para **aplicaciones autónomas**, generalmente se desarrollan **aplicaciones centralizadas** para la

producción de electricidad y su vertido a la red general de distribución, bien utilizando máquinas de gran potencia (varios MW) o bien agrupando numerosas máquinas de mediana potencia (algunos cientos de kW) en los llamados **parques eólicos**, de mucha mayor difusión.

Energía de la biomasa

Una parte de la energía solar que llega a la superficie terrestre es absorbida por las plantas verdes, dando lugar a una forma de captación de energía que lleva consigo asimismo un almacenamiento. La formación de materia vegetal a partir de la luz solar mediante el proceso de la fotosíntesis da lugar a la llamada **energía de la biomasa**. A través de la cadena biológica, parte de la biomasa vegetal se convierte en biomasa animal; la utilización de sólo una parte de esta biomasa produce unos *residuos* de carácter orgánico, que constituyen la principal fuente de biomasa. No obstante, puede también utilizarse como fuente de biomasa aquella producida expresamente para su utilización como fuente energética, lo que da lugar a la consideración de los llamados *cultivos energéticos*.

Los **residuos** son aquellos materiales generados en las actividades de producción, transformación y consumo que no han alcanzado ningún valor económico. Bajo el punto de vista de su carácter orgánico y de la naturaleza de su origen, pueden considerarse residuos **agrarios** (agrícolas, forestales y ganaderos), **industriales** y **urbanos** (residuos sólidos y aguas residuales).

Los **cultivos energéticos** son aquellas cosechas que se llevan a cabo atendiendo a su valor como combustible (*Agroenergética*), seleccionándose las especies de acuerdo a la premisa de obtener la máxima cantidad de energía compatible con las condiciones de clima y suelo de cada zona. Se consideran los *cultivos tradicionales* (cereales, caña de azúcar, girasol), *cultivos poco frecuentes* (cardos, ágaves, helechos), *cultivos acuáticos* (algas) y *cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos* (euforbias, jojoba, ricino).

Una vez que se dispone de la fuente apropiada de biomasa, ésta debe ser transformada en un producto energético (combustible) que conduzca a la obtención de

energía final útil. Los **procesos de transformación** de la biomasa en energía siguen diferentes vías, según las características de la biomasa disponible: *físico-químicos*, *termoquímicos* o *bioquímicos*.

Los **procesos físico-químicos** se utilizan para extraer directamente el combustible de las plantas que los contienen (procesos físicos) o para transformar la composición de ciertos aceites vegetales, haciéndolos utilizables como combustible, el denominado *bio-diesel* (procesos químicos). Los **procesos termoquímicos** consisten en la descomposición térmica a elevadas temperaturas de la biomasa de bajo contenido en humedad con exceso de oxígeno (*combustión*: calor), defecto de oxígeno (*gasificación*: combustibles gaseosos) o ausencia de oxígeno (*pirólisis*: combustibles diversos). Los **procesos bioquímicos** hacen uso de microorganismos para transformar azúcares en etanol (*fermentación alcohólica*) o biomasa de alto contenido en humedad en *biogás* (*digestión anaerobia*).

Energía geotérmica

En el interior de la Tierra tiene lugar una serie de procesos físicos, como la presión debida a grandes masas de rocas, el rozamiento entre ellas o la desintegración de ciertos isótopos radiactivos; estos procesos desprenden grandes cantidades de calor, que puede quedar atrapado en algunas zonas de la corteza terrestre, denominándose **energía geotérmica**. Generalmente las zonas de anomalía geotérmica se caracterizan por ciertas **manifestaciones superficiales**, entre las que cabe mencionar el volcanismo reciente, zonas de alteración hidrotermal, emanaciones gaseosas, fuentes termales o minerales y anomalías térmicas.

Para poder aprovechar esta fuente de energía es necesario que exista un **yacimiento geotérmico**, es decir, un volumen de roca con temperatura anormalmente elevada para la profundidad a la que se encuentra, susceptible de ser recorrido por una corriente de agua que pueda absorber el calor y transportarlo hasta la superficie. Según sus características puede tratarse de **sistemas hidrotérmicos** (conteniendo acuíferos naturales, en estado líquido o vapor), **sistemas geopresurizados** (conteniendo agua a presión, saturada de gas natural) y **sistemas de roca seca caliente** (sólo rocas a

muy elevada temperatura).

La **explotación** de los yacimientos geotérmicos depende de numerosas variables, principalmente de su temperatura. Los **yacimientos de alta entalpía** generalmente se utilizan para obtener electricidad, mediante alguno de los procesos convencionales como la *conversión directa*, la *expansión súbita* (en una o más etapas) o los *procesos de ciclo binario o flujo total*. Los **yacimientos de baja entalpía**, mucho más abundantes, se utilizan en calefacción urbana, industrial o agrícola.

Energía hidráulica

El agua de los mares evaporada por el Sol vuelve a caer sobre la tierra, y desde aquí se forman corrientes que recorren ciertas distancias en su regreso al mar. Una corriente de agua contiene energía cinética, por la velocidad que lleva, y energía potencial, por su elevación; al conjunto se le conoce como **energía hidráulica**. Su aprovechamiento se fundamenta en conocer el caudal y el desnivel de la corriente sobre el terreno y definir las **conducciones** (canales, tuberías) y los **diques** (de terraplén, de hormigón) que permitan llevar de forma óptima el agua hasta el sistema captador, formado por una *rueda hidráulica* o una *turbina*.

Las **ruedas hidráulicas** funcionan por acción directa del agua contra sus paletas, cediendo parte de su energía cinética, que puede recuperarse en el eje de la rueda. Existen ruedas de *empuje inferior* (rueda Poncelet) y las más eficientes de *empuje superior* (ruedas Pelton y Michell), que incluso se utilizan acopladas a un generador eléctrico.

Las **turbinas** son máquinas en las que se aprovecha directamente la fuerza del agua mediante la reacción que ésta produce en un dispositivo de paletas helicoidales totalmente sumergido en la corriente. Estos dispositivos giran a muy altas velocidades (superiores a 1.000 rpm) y tienen eficacias mayores al 95%, siendo los tipos más utilizados la *turbina Francis* y la *turbina Kaplan*.

La **generación hidroeléctrica** se lleva a cabo tanto en grandes centrales (más de 10 GW) como en microcentrales (varios kW). Las microcentrales a veces utilizan *bombas centrífugas* en marcha invertida para reducir costes, mientras que las grandes

centrales incorporan cada vez más frecuentemente turbinas reversibles para adaptar la oferta de electricidad a la demanda del mercado, utilizando la técnica del *almacenamiento por bombeo*.

Energía del mar

La gran superficie ocupada por los océanos hace que éstos actúen como importantes sistemas captadores y acumuladores de energía. Las mareas, resultantes de la rotación de la Tierra y el influjo gravitatorio de la Luna, los gradientes térmicos oceánicos y el movimiento de la superficie del agua en forma de olas son tres fenómenos que involucran grandes cantidades de energía y se agrupan bajo la denominación de **energía del mar**, si bien sus aplicaciones en la obtención de energía útil son casi inexistentes, pero sometidas a investigación.

La **energía maremotriz** es la energía involucrada en el fenómeno de las mareas, subidas y bajadas del nivel del mar, de origen gravitatorio. Su aprovechamiento está basado en encerrar un cierto volumen de agua en un estuario mediante diques durante la pleamar; al producirse la bajamar se crea un desnivel (mínimo de 4 m), que se utiliza para liberar el agua embalsada a través de turbinas que generan electricidad. Sólo pocas zonas geográficas permiten estas disposiciones (*ciclo elemental de efecto simple*), cuyo rendimiento puede mejorarse combinando varios embalses (*ciclo múltiple*) y aprovechando ambos movimientos de la marea (*doble efecto*). Aunque pueden utilizarse turbinas convencionales, la turbina de *bulbo axial* ha sido especialmente diseñada para operar de forma eficiente con pequeños desniveles, flujo bidireccional y funcionamiento reversible.

La **energía maremotérmica** es la contenida en el gradiente térmico que en los mares tropicales puede alcanzar hasta los $-25^{\circ}\text{C}/\text{km}$. La energía puede extraerse mediante una máquina térmica convencional que opere con saltos térmicos muy bajos, bien en *ciclo abierto* (el fluido de operación es el agua de mar) o en *ciclo cerrado* (se utilizan fluidos de operación especiales).

La **energía de las olas** puede extraerse a partir del movimiento ondulatorio de la superficie del mar. La gran complejidad de este movimiento ha llevado a un gran

número de diseños de *convertidores de olas*, tanto *pasivos* (inmóviles, anclados o en la costa) como *activos* (en movimiento con las olas), aunque generalmente se agrupan según su posición relativa al frente de olas. Los dispositivos llamados *totalizadores* se sitúan paralelamente al frente de olas y tratan de captar la energía de una sola vez; sus diseños más representativos son el rectificador Russel, el “pato” Salter, la balsa Cockerell y el convertidor N.E.L. Los dispositivos llamados *atenuadores* están formados por grandes estructuras situadas perpendicularmente al frente de olas y tratan de captar la energía de forma progresiva; sus diseños más representativos son el buque Kaimei, la bolsa de Lancaster y la “almeja” de Lancaster. Los dispositivos llamados *absorbedores puntuales* son cilindros verticales, indiferentes a la dirección de propagación de las olas; sus diseños más representativos son la boya Masuda y el convertidor de Belfast.

Ahorro energético, cogeneración y almacenamiento

Suele afirmarse que el **ahorro energético** es la fuente de energía más barata y más limpia de la que dispone el ser humano, principalmente por el hecho de que es más económico ahorrar un kW·h que generarlo y, por otra parte, la energía que menos afecta al medio ambiente es la que no se consume. El ahorro de energía ha evolucionado paralelamente al desarrollo de las energías renovables y la consecución de sus objetivos está basada tanto en la capacidad social (adecuación de actitudes) como en el esfuerzo tecnológico (aumento de la eficiencia en equipos y procesos).

En los tres grandes sectores de consumo energético, el industrial, el transporte y la vivienda se han adoptado numerosas medidas que han permitido un uso más racional de los recursos energéticos disponibles. En la **industria** se han desarrollado los procesos de *cogeneración* (producción secuencial de dos o más formas de energía útil a partir de la misma fuente primaria). La mayor eficacia en el **transporte** se ha basado en el desarrollo de *motores más ligeros* y en la mejora de las *infraestructuras*. El ahorro de energía en la **vivienda** se ha conseguido usando mejores *aislamientos*, avanzados sistemas de *iluminación* (lámparas fluorescentes compactas) y electrodomésticos de *bajo consumo*.

La **cogeneración** es la producción combinada de electricidad y calor útil a partir de la misma fuente de energía primaria. En la operación de una planta termoeléctrica convencional, siempre existen pérdidas en forma de calor residual, que generalmente es eliminado a la atmósfera. La mayor parte de este calor puede ser aprovechado en usos térmicos, aumentando la eficiencia energética global del proceso desde un 40% hasta un 85%, según las condiciones del sistema. Los numerosos sistemas de cogeneración que se han desarrollado responden a dos esquemas principales: *ciclos de cabeza* y *ciclos de cola*.

Los **ciclos de cabeza** utilizan la fuente de energía primaria (combustible fósil) para producir en una primera etapa electricidad; el calor residual de este proceso (vapor de baja presión, gases de escape calientes) se aprovecha en una segunda etapa para procesos industriales con requerimientos térmicos. Este esquema es el más frecuentemente usado en la industria en la que se requieren temperaturas moderadas (calefacción, secado). Los **ciclos de cola** utilizan como fuente de energía primaria el calor de un proceso industrial (gases muy calientes de uso directo o para producir vapor de alta presión) para generar electricidad. Este esquema se emplea típicamente en hornos y reactores químicos (cemento, vidrio, cerámica).

El **almacenamiento** forma parte de los procesos naturales y artificiales de aprovechamiento de energía, siendo sus características fundamentales la cantidad y calidad de la energía almacenada y el tiempo de almacenamiento. El uso efectivo de una fuente de energía demanda un almacenamiento económico eficiente y flexible, lo que ha llevado al desarrollo de diversos métodos, según el campo de aplicación, tanto de la energía almacenada, como de su forma de utilización posterior.

El **almacenamiento térmico** consiste en acumular directamente el calor en sólidos o fluidos aislados, lo que exige disponer de adecuadas superficies de intercambio y evitar las fugas hacia los alrededores. Se almacena el *calor sensible* (agua caliente, fluidos orgánicos, metales fundidos, sales fundidas o sólidos, según la temperatura) y el *calor latente* (sales hidratadas, eutécticos salinos). El **almacenamiento químico y electroquímico** consiste en producir compuestos químicos (*hidrógeno*) mediante calor o electricidad, o bien transformar ésta directamente en energía química usando *baterías* (plomo-ácido, alcalinas, especiales, redox, células de combustible). El

almacenamiento mecánico implica acumular la energía en forma de *energía potencial* (resortes, compresión de gases y principalmente, bombeo de agua), o bien en forma de *energía cinética* (volantes de inercia). El **almacenamiento eléctrico y magnético** se consigue, a pequeña escala, en *condensadores* (campo eléctrico) o *bobinas* (campo magnético), cuyo futuro se busca en el fenómeno de la superconductividad (conductores de resistencia eléctrica nula).

II. TECNOLOGÍA AMBIENTAL

Medio ambiente. Efectos globales. Gestión ambiental

El ser humano es un elemento de la Naturaleza, y como tal está rodeado de un conjunto de circunstancias físicas con las que se relaciona de forma continua e inevitable: el **medio ambiente**. Al estudio de las relaciones existentes entre los seres vivos y el medio en que viven se le denomina **ecología**; la huella que dejan las acciones humanas sobre el medio se conoce como **impacto ambiental**; la influencia sobre el medio que puede ocasionar daño o peligro se denomina **contaminación**.

Si bien la propia Naturaleza es capaz de producir efectos destructivos como parte de la dinámica del planeta, estos efectos pueden verse potenciados en distinta medida por la actividad humana. Algunos de ellos han adquirido gran notoriedad, fundamentalmente porque se trata de **efectos globales**, que tienen lugar en los tres medios (aire, agua y tierra) y se extienden por todo el planeta.

El **efecto invernadero** es el fenómeno natural por el cual el dióxido de carbono contenido en la atmósfera impide la salida de las radiaciones de onda larga que desprende la Tierra al ser calentada por la luz visible y, por tanto, calienta la superficie del planeta, haciéndolo habitable. Actualmente se plantea que un aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera debido a la influencia humana podría elevar la temperatura media de la Tierra y provocar cambios climáticos imprevisibles, por lo que existen acuerdos de ámbito mundial para reducir paulatinamente las emisiones de este gas a la atmósfera.

El **agujero de ozono** es una drástica disminución del espesor de la capa de ozono estratosférica en la Antártida, detectado en la década de 1970 y que ha sido relacionado con la presencia en la atmósfera de ciertas sustancias, los fluoroclorocarbonos (CFCs). Como el ozono actúa como filtro de la mayor parte de las radiaciones ultravioletas del Sol, su reducción podría tener efectos perjudiciales sobre los seres vivos.

La **lluvia ácida** es una consecuencia de la presencia en la atmósfera de óxidos de azufre y nitrógeno procedentes del uso de combustibles fósiles; dichos gases son disueltos por las precipitaciones que, al llegar a la superficie, pueden modificar el pH del suelo y del agua. La adopción de medidas sobre los focos emisores reduciría este fenómeno, totalmente atribuible a la actividad humana.

La **degradación de corrientes de agua** se produce cuando, por intervención humana, se someten estas corrientes a sobrecargas que superan ampliamente su *capacidad de autodepuración*. Esta propiedad comprende un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos que provocan de forma natural la destrucción de materias extrañas incorporadas a la corriente. Mientras se mantiene el equilibrio natural, la masa de agua se autodepura; cuando se rompe el equilibrio, la regeneración natural se hace prácticamente imposible.

La **eutrofización de masas de agua** consiste en un incremento de sustancias nutrientes en las aguas que provocan un exceso de flora acuática que al morir, hace que aumente el oxígeno necesario para su degradación, que se va eliminando de la masa de agua hasta hacerla totalmente anaerobia y, por tanto, no habitable por organismos superiores. Este fenómeno puede producirse de forma natural, pero generalmente es debido a vertidos procedentes de explotaciones agrícolas que usan abonos químicos con altos contenidos en nitratos y fosfatos.

La **desertización** es el fenómeno evolutivo de una región hacia unas condiciones parecidas a las del desierto. Este proceso natural es debido a fenómenos orográficos y climáticos, pero puede verse favorecido por la actividad humana, principalmente a causa de la deforestación a gran escala.

La utilización de los recursos naturales no tiene que ser, necesariamente, una

actividad contaminante. Una correcta **gestión ambiental**, permite emprender acciones tales como valorar correctamente las consecuencias que cada actividad puede tener sobre el medio (*estudios de impacto ambiental*) y encontrar soluciones tecnológicas capaces de mitigar o anular estas consecuencias (*tecnología ambiental*). El estudio de estas soluciones se abordará según un esquema que contempla los factores de impacto físico: contaminación atmosférica, contaminación de las aguas, residuos sólidos y ruido.

Contaminación atmosférica

Se entiende por **contaminación del aire** la presencia en él de materias que impliquen riesgo, daño o molestia, debido a sus características físico-químicas o a su concentración. Los focos de contaminación atmosférica son muy numerosos, si bien suelen estar relacionados con el uso de combustibles fósiles que dan lugar a la *emisión* (totalidad de sustancias que pasan al aire), que se ve sometida a *difusión* (distribución en el espacio y en el tiempo) y se convierte en *inmisión* (contaminantes que llegan a un medio receptor). El número de sustancias que pueden ser contaminantes es muy elevado, por lo que suelen agruparse según su elemento químico más característico.

Los **compuestos de azufre** pueden causar enfermedades respiratorias, destrucción de cubierta vegetal y corrosión, siendo las más importantes el dióxido de azufre, el trióxido de azufre (que forma ácido sulfúrico) y el sulfuro de hidrógeno. Los **compuestos de nitrógeno** son tóxicos, siendo los más frecuentes el óxido nítrico, el dióxido de nitrógeno y los nitratos de peroxiacetilo y peroxibencilo, que tienen gran influencia en la llamada “contaminación fotoquímica”. Los **compuestos inorgánicos del carbono** más contaminantes son el monóxido de carbono (muy tóxico) y el dióxido de carbono (asfixiante), éste sólo por encima de ciertas concentraciones. El **ozono** es una forma molecular del oxígeno, muy oxidante. Los **compuestos orgánicos** más característicos de la contaminación son los hidrocarburos (asfixiantes los alifáticos, anestésicos los aromáticos), que provienen principalmente de las combustiones incompletas de los derivados del petróleo, y los halocarburos (freones propelentes y halones extintores) que son inertes, pero presuntos responsables del agujero de ozono.

Los **metales pesados** más peligrosos son el plomo, cadmio y mercurio, que son tóxicos acumulativos y se emiten en muy pequeñas concentraciones en algunos procesos industriales. Las **partículas sólidas** presentan una constitución química muy variada pero si son suficientemente grandes, sedimentan (polvo: industria de la construcción), mientras que si son muy pequeñas, permanecen en suspensión (humo: combustiones).

La **corrección de la emisión de contaminantes atmosféricos** puede abordarse mediante labores de prevención, para evitar que se produzcan, pero una vez generados sólo cabe someterlos a captación, concentración y separación o bien, si ello no es posible, dispersarlos por evacuación a la atmósfera.

La **separación de partículas** contaminantes de una corriente gaseosa que abandona un proceso se realiza mediante operaciones mecánicas. La *separación gravitatoria* se consigue aumentando la sección de la conducción (cámara de precipitación) para que las partículas reduzcan su velocidad y caigan. En la *separación inercial* se obliga a las partículas a girar, frenándolas y haciéndolas caer en un dispositivo cónico llamado "cyclón". La *filtración* consiste en la retención por choque y aglomeración de las partículas en suspensión mediante un medio separador (filtro), constituido por diversos tejidos. La *precipitación electrostática* consiste en utilizar dispositivos metálicos a los que se aplica una corriente eléctrica, que electriza el polvo y así es atraído por unos electrodos sobre los que se deposita y descarga. La *separación por vía húmeda* (lavado) está basada en hacer pasar el gas en flujo cruzado a través de una lluvia de líquido que arrastra las partículas y forma un lodo que se separa de la corriente gaseosa.

La **separación de gases** contaminantes se realiza mediante procesos físico-químicos. La *absorción* se basa en la solubilidad de un determinado componente de la mezcla gaseosa en un líquido absorbente, con el que puede o no reaccionar en dispositivos llamados "columnas de relleno"; el líquido absorbente hay que regenerarlo mediante el proceso inverso. La *adsorción* es el proceso de atracción de un componente de una mezcla gaseosa sobre una superficie sólida, con la que puede o no reaccionar; generalmente se usa la adsorción física sobre carbón activo o zeolitas en lechos fijos de sólido, que se regeneran periódicamente. La *combustión* es el proceso de oxidación total de los compuestos orgánicos combustibles en antorchas (combustión

directa), quemadores de postcombustión (hornos que necesitan combustible adicional) o reactores de oxidación catalítica (combustión a menor temperatura, favorecida por un catalizador). La *reducción catalítica* se aplica a sustancias oxidadas utilizando catalizadores metálicos sobre soportes cerámicos y monóxido de carbono como reductor. La *conversión catalítica* es el proceso simultáneo de oxidación-reducción de gases con muy variada composición de contaminantes: se utilizan catalizadores de tres vías (transforman hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en dióxido de carbono, agua y nitrógeno), formados por complejos metálicos sobre soportes de cerámica.

La **evacuación a la atmósfera** se lleva a cabo cuando la captación de sustancias contenidas en la emisión es inviable, debido a su baja concentración. Para efectuar una adecuada dispersión de las sustancias en la atmósfera es necesario considerar dos tipos de factores. Los *factores meteorológicos* más importantes son la temperatura del foco emisor respecto a la del aire circundante (ha de ser superior para que la emisión se eleve) y el viento (cuya turbulencia favorece la mezcla y dispersión de los contaminantes). Los *factores emisivos* están basados en las características de la conducción de descarga (chimenea) y de la masa de gases descargada (penacho), es decir, han de manejarse factores tales como la velocidad de la corriente emitida, la temperatura de los gases y la altura de emisión.

Contaminación de las aguas

La **contaminación del agua** puede definirse como la alteración de su calidad que hace que no sea adecuada para la aplicación a la que se destina (todas demandan agua, pero no todas la consumen): abastecimiento de agua potable, sostenimiento de la fauna acuática, producción agraria e industrial, generación de energía, navegación y recreo o evacuación de residuos.

Las **alteraciones físicas** son aquéllas relacionadas con la *propiedades organolépticas* (color, olor, sabor), *temperatura*, *materia en suspensión*, *espumas* o *radiactividad*. Las **alteraciones químicas** se producen por la presencia de determinados compuestos por encima de cierta concentración, tanto de tipo *orgánico* (afectan al

carácter reductor) como *inorgánico* (afectan a la acidez, alcalinidad, corrosividad y toxicidad). Las **alteraciones biológicas** se refieren al desequilibrio provocado por un aumento del número de microorganismos presentes, especialmente bacterias, protozoos y algas.

La calidad del agua se mide mediante **indicadores de contaminación**, entre los que destacan el *contenido en sólidos* (disueltos, suspendidos, sedimentables, fijos, volátiles), *oxígeno disuelto* (del contacto con la atmósfera y de las plantas acuáticas), *demanda bioquímica de oxígeno, DBO* (consumo de oxígeno para descomponer la materia orgánica), *demanda química de oxígeno, DQO* (consumo de oxígeno para descomponer toda la materia presente), *nitrógeno* (molecular o amónico), *alcalinidad* (contenido en sales), *temperatura* (influye sobre las reacciones bioquímicas) y *organismos patógenos* (causantes de enfermedades).

Los **focos de contaminación** pueden ser de origen natural (geoquímico, catastrófico) o humano (aguas domésticas, efluentes agrarios o efluentes industriales), y las aguas residuales producidas (principalmente las domésticas) se someten a *eliminación* o a *tratamiento*, según sus características, aplicando en cada caso la tecnología más adecuada.

La **eliminación de aguas residuales** consiste en su vertido al entorno, aprovechando las propiedades de autodepuración naturales. La **eliminación directa** consiste en su aplicación al terreno mediante *riego* (para el crecimiento de especies vegetales), *infiltración rápida* (para recargar acuíferos) o *circulación superficial en lámina* (para la absorción de oxígeno atmosférico). La **eliminación indirecta** consiste en almacenar temporalmente en agua residual en un recipiente (*pozo negro* o *fosa séptica*), desde donde se infiltra lentamente al terreno. La **eliminación por dilución** se basa en el vertido sobre grandes masas de agua para diluir los contaminantes en ellas aprovechando la capacidad de autodepuración de *ríos, lagos, embalses y estuarios* o del *mar*.

El **tratamiento de aguas residuales** consiste en concentrar los contaminantes y separarlos en forma de fangos (lodos) que también hay que tratar. Esto se lleva a cabo acelerando los procesos naturales de depuración en unas instalaciones

controladas llamadas *estaciones de depuración de aguas residuales* (EDAR), donde se efectúan diversas operaciones, generalmente agrupadas en cinco etapas.

El **tratamiento previo** consiste en la eliminación de cuerpos de gran tamaño y alta densidad mediante operaciones de *cribado* (separación por mallas), *dilaceración* (fragmentación y trituración) o *desarenado* (separación de gravas y arenas). El **tratamiento primario** tiene como objetivo la eliminación de los sólidos en suspensión, que se lleva a cabo por *sedimentación* (separación por gravedad en tanques de gran sección y poca profundidad), *desengrasado* (separación de las grasas sobrenadantes en canales largos y poco profundos), *floculación* (aglutinación de las partículas suspendidas para separarlas por sedimentación o filtración), *flotación* (inyección de aire para formar espumas separables) o *filtración* (circulación a través de lechos de arena que retienen las partículas). El **tratamiento secundario** se encarga de eliminar la materia biodegradable mediante microorganismos; se efectúa en *balsas de estabilización* (degradación mediante oxígeno atmosférico), *lagunas aireadas* (oxígeno suministrado mediante aireadores mecánicos superficiales), *filtros percoladores* (lechos de piedras con población microbiana) o mediante el *proceso de lodos activos* (aireación vigorosa para obtener altas concentraciones de microorganismos). El **tratamiento terciario** tiene como objetivo eliminar los sólidos disueltos mediante operaciones de *adsorción* (retención del soluto sobre la superficie de sólidos como arcillas o carbón activo), *intercambio iónico* (reducción de salinidad mediante resinas sintéticas que cambian cationes y aniones por los iones del agua) u *ósmosis inversa* (paso forzado del disolvente a través de una membrana semipermeable que impide el paso del soluto). La **desinfección** es el proceso por el que se destruyen los gérmenes patógenos contenidos en el agua; puede hacerse aplicando *calor* o *radiación* de alta energía (ultravioleta), pero generalmente se utilizan productos químicos como el *cloro* (en forma gaseosa o como compuestos líquidos, cuya presencia residual asegura el proceso pero proporciona sabor) o el *ozono* (generado antes de su aplicación, oxigena la muestra, no proporciona sabor, pero tampoco impide infecciones posteriores).

El **tratamiento de fangos de depuradora** es un conjunto de operaciones que tiene como objetivo reducir el contenido de agua y de materia orgánica del fango para hacerlo más manejable en su aprovechamiento o eliminación. El *espesamiento* es la

primera etapa de reducción de volumen, eliminando parte del agua mediante sedimentación. La *estabilización* persigue impedir que proliferen los microorganismos, lo que se logra añadiendo cloro, cal, tratando el lodo térmicamente o, lo que es más usual, sometiéndolo a digestión anaerobia (fermentación en ausencia de oxígeno). El *acondicionamiento* tiene el objetivo de hacer más eficaces los procesos posteriores de desecación, sometiendo el fango a tratamiento químico (coagulación de los sólidos) o a tratamiento térmico (coagulación, estabilización y desodorización). La *desecación* logra reducir el contenido en agua al mínimo y se lleva a cabo en eras de secado (superficies de terreno para secado por drenaje), lagunas de secado (estanques poco profundos para secado por evaporación), por secado térmico (vaporización del agua mediante calor), filtración (paso a través de un medio filtrante) o centrifugación (aplicando grandes aceleraciones).

El **aprovechamiento de fangos** estabilizados y desecados se basa en su uso como enmienda de suelos agrícolas, bien por *aplicación directa al terreno* (inyectando fangos de alta humedad bajo la superficie del terreno) o por *compostaje* (fermentación aerobia de fangos de baja humedad para producir un acondicionador agrícola llamado “compost”). La **eliminación de fangos** se lleva a cabo cuando no son aprovechables, haciéndose por *lagunaje* (vertido en estanques de tierra), *vertido controlado* (en vertederos de residuos sólidos), *relleno de terreno* (aprovechando minas abandonadas) o *incineración* (en hornos, produciendo gases que se evacúan a la atmósfera y cenizas que se eliminan en un vertedero controlado).

Residuos sólidos

Se denominan **residuos sólidos** a aquellos materiales sólidos resultantes de procesos de producción o consumo, cuyo poseedor destina al abandono. Se distinguen los *residuos agrarios* (50%, formados por fracciones agrícolas, ganaderas o forestales; composición biológica), *residuos mineros e industriales* (40%, procedentes de actividades variadas; composición muy diversa), *residuos peligrosos* (sólo un 1%, pero necesitan especial atención) y *residuos urbanos* (10%, del consumo en las ciudades y de composición muy variable).

La **gestión de los residuos sólidos** es el conjunto de operaciones que se lleva a cabo para reducir su impacto sobre el medio ambiente y que se engloban en tres fases: la *recogida* (bruta, sin separación; o selectiva, con separación previa de compuestos), el *transporte* (que incluye compactación para reducir el volumen) y el *tratamiento* (eliminación o aprovechamiento). La **gestión de los residuos agrarios** depende de su origen. Los *residuos agrícolas* (partes de la planta cultivada que hay que separar para obtener el fruto) son biológicos de bajo contenido en humedad, por lo que su tratamiento consiste en su eliminación por incineración o actualmente, en su aprovechamiento para la obtención de energía. Los *residuos ganaderos* (estiércoles y purines producidos por el ganado) son biológicos de alto contenido en humedad, por lo que suelen tratarse por aprovechamiento para la obtención de energía o por aprovechamiento para la producción de “compost”. Los *residuos forestales* (restos del árbol que no se aprovechan y material obtenido de labores de clareo) son biológicos de bajo contenido en humedad, por lo que tradicionalmente se ha optado por la eliminación por incineración, aunque hoy día se lleva a cabo un aprovechamiento para la obtención de energía. La **gestión de los residuos mineros, industriales y peligrosos** es muy específica y consiste en su estabilización previa para poder proceder a su eliminación por vertido controlado. La **gestión de residuos sólidos urbanos** implica una recogida previa (selectiva o no) y su transporte en dos fases (estaciones de transferencia, destino final) para ser sometidos a eliminación por vertido controlado o por incineración, o a aprovechamiento para la obtención de energía, para la producción de “compost” o por reciclado.

La **eliminación de residuos sólidos por vertido controlado** es el procedimiento más simple y barato, pero el emplazamiento de un vertedero ha de hacerse según criterios de *ubicación* (superficie y situación), *capacidad del lugar* (vida del vertedero), *datos geológicos* (terrenos y materiales de cobertera), *climatología* (precipitaciones, vientos, temperaturas), *datos hidrológicos* (acuíferos cercanos), *inventario biológico* (flora y fauna de la zona) y *utilización final* (integración en el paisaje). El vertido se realiza alternando capas de residuos y cobertera (células, terrazas), teniendo muy en cuenta la *producción de lixiviados* (líquidos de escurrido), *formación de gases* (fermentación anaerobia), *olores y animales* (en el frente de vertido), *ruidos* (maquina-

ria) y *deterioro paisajístico* (impacto visual).

La **eliminación de residuos sólidos por incineración** consigue reducir su volumen inicial en cerca del 85% y se realiza en hornos de combustión en los que se producen *gases* (una vez tratados, se evacúan por una chimenea) y *cenizas* (se eliminan en un vertedero controlado).

El **aprovechamiento de residuos sólidos para la obtención de energía por procesos térmicos** se lleva a cabo por *combustión* (oxidación con exceso de oxígeno para la obtención de calor), *gasificación* (oxidación con defecto de oxígeno para obtener gases combustibles) o *pirólisis* (descomposición en ausencia de oxígeno para producir distintos combustibles gaseosos, líquidos o sólidos).

El **aprovechamiento de residuos sólidos para la obtención de energía por procesos biológicos** puede hacerse por *digestión anaerobia* (fermentación microbiana en ausencia de oxígeno para dar “biogás” combustible), si se dispone de residuos de alto contenido en humedad, o por *fermentación alcohólica* (degradación enzimática de hidratos de carbono a etanol, combustible), si se dispone de residuos azucarados o amiláceos.

El **aprovechamiento de residuos sólidos para la producción de *compost*** se basa en la fermentación aerobia del material biológico de los residuos por medio de bacterias para obtener “compost”, una enmienda orgánica del suelo (mejora las propiedades del terreno agrícola). La forma más sencilla es la *fermentación natural* (a la intemperie, durante unos tres meses) o la *fermentación acelerada* (en recipientes cerrados controlados, durante unas dos semanas).

El **aprovechamiento de residuos por reciclado** o recuperación selectiva de productos para su reutilización (compuestos celulósicos, plásticos, vidrios, metales) se realiza en dos etapas. La *separación* se lleva a cabo normalmente en origen o mediante métodos físicos, mientras que la *recuperación* es específica de cada uno de los materiales que se desea reciclar. Los *componentes celulósicos* (papelote) se transforman en pulpa para producir de nuevo papel o cartón; los *plásticos* se trituran para formar un granulado (granza) que se utiliza en la fabricación de nuevos artículos; los *vidrios* se muelen para formar un granulado (calcín) que se incorpora al proceso

normal de fabricación; los *metales* (hierro, aluminio) se separan por tipos y se incorporan a sus correspondientes metalurgias.

Ruido

El **ruido** es una combinación desordenada de sonidos puros, cuya onda sonora no es periódica. El ruido transporta energía (presión sonora) en una amplia gama de frecuencias, pudiéndose distinguir ruidos *continuos* (ni la presión sonora ni el espectro de frecuencias varían con el tiempo), *intermitentes* (la presión sonora y el espectro de frecuencias varían constantemente), *de impacto* (alta presión sonora y corta duración, por choque de superficies sólidas), *de impulso* (alta presión sonora y corta duración, por variaciones bruscas de presión) o *de fondo* (contiene todas las frecuencias con la misma intensidad media).

Para la **medida** del ruido se usan equipos especializados como el *sonómetro* (medida de la presión sonora), el *dosímetro* (medida de la exposición temporal a una presión sonora) o el *analizador espectral* (medida de bandas concretas de frecuencias).

Las **causas del ruido** son múltiples y se encuentran en casi todos los lugares, aunque las principales son las actividades industriales, las actividades urbanas y los medios de transporte. Las **actividades industriales** principales que causan ruidos son la *circulación de fluidos*, (cambios de presión), el *rozamiento en máquinas* (contactos de superficies en movimiento), o el *impacto sobre sólidos* (contactos de superficies sobre sólidos). Las **actividades urbanas** más importantes son las *obras públicas o construcción* (niveles elevados, poco permanentes), los *servicios comunitarios* (niveles medios, casi permanentes), las *señalizaciones sonoras* (niveles muy elevados, esporádicos) o la *actividades lúdicas y recreativas* (niveles y espectros muy variados). Dentro de los **medios de transporte**, las fuentes de ruido más importantes son las debidas al *tráfico rodado* (según tipo de vehículo, conservación, régimen de marcha o tipo y disposición de las calzadas).

Los **efectos del ruido** pueden producirse sobre el ser humano o sobre los materiales. Los **efectos sobre el ser humano** pueden ser de tipo *fisiológico* (pérdidas de audición) o *sicológico* (sensaciones de desagrado o malestar). Los **efectos sobre**

los materiales se pueden traducir en *resonancia* (vibración que puede producir fractura del material por exceder del límite de elasticidad) o *fatiga* (pérdida de propiedades elásticas con el tiempo, que produce roturas).

El **control del ruido** puede abordarse mediante diversas actuaciones entre las que cabe destacar la *modificación de la fuente sonora* (aislamientos internos o sustitución del equipo), el *aislamiento del medio transmisor* (cambio de implantación, absorbedores, silenciadores, barreras, cerramientos) o la *protección del receptor* (cerramientos o protectores auditivos; reducción del tiempo de exposición por rotación del personal).

Todo esto y mucho más (BIBLIOGRAFÍA) en ...

Jarabo, F., Elortegui, N., Pérez, C., Fernández, J., Sanz, M. y Macías, J.; «**Energías renovables**», S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L., Madrid (2000).

Jarabo, F., Elortegui, N. y Jarabo, J.; «**Fundamentos de tecnología ambiental**», S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L., Madrid (2000).

Jarabo, F.; «**Las energías renovables en la Enseñanza Secundaria**», Era Solar, 96 (2000).

Jarabo, F., Fernández, J., Trujillo, D., Elortegui, N. y Pérez, C.; «**La energía de la biomasa**», S.A.P.T Publicaciones Técnicas, S.L., Madrid (1999).

Jarabo, F. y Elortegui, N.; «**Energías renovables: fundamentos y experiencias**», Instituto de Investigaciones Científicas y Ecológicas, Salamanca (1996).

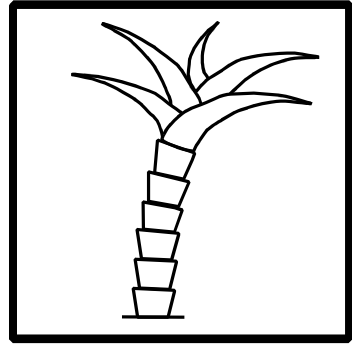
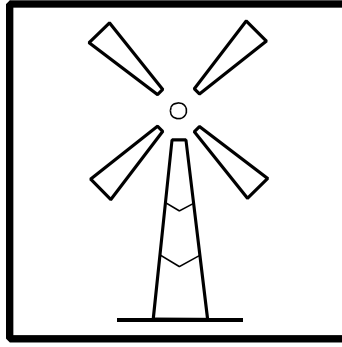
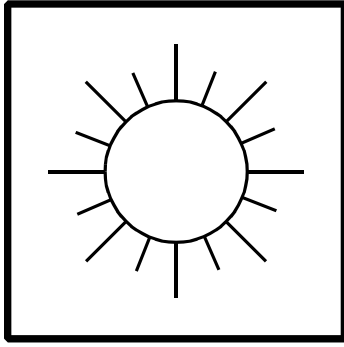
Elortegui, N. y Jarabo, F.; «**Energía contaminante y contaminación por energía**», Era Solar, 42 (1990).

Elortegui, N., Fernández, J. y Jarabo, F.; «**Energías renovables. Experiencias prácticas**», Consejería de Educación (Gobierno de Canarias) / C.C.P.C., Santa Cruz de Tenerife (1989).

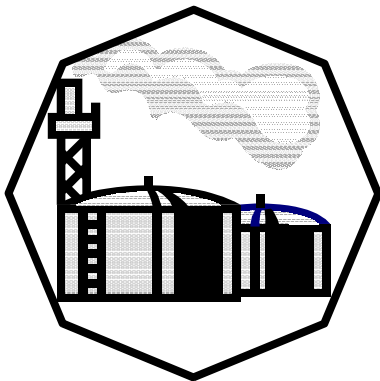
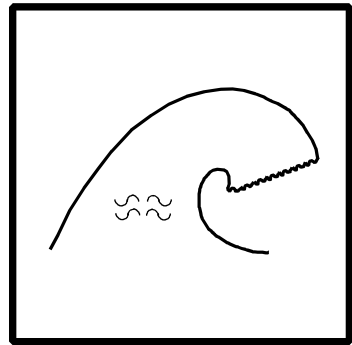
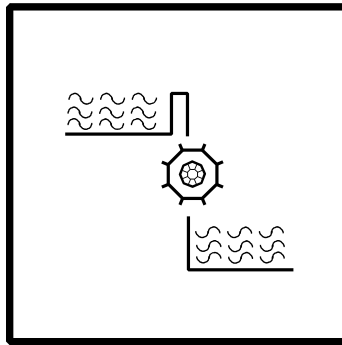
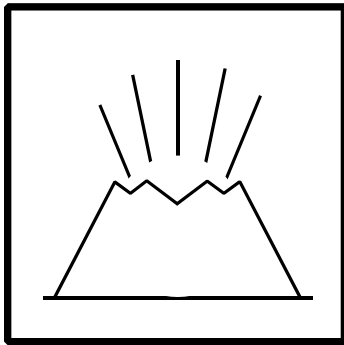
Jarabo, F.; «**El libro de las energías renovables**», Era Solar, 30 (1988).

Jarabo, F., Pérez, C. y Sanz, M.; «**Energías Renovables**», Consejería de Industria y Energía (Gobierno de Canarias) / C.C.P.C., Santa Cruz de Tenerife (1987).

Jarabo, F. y Fernández, J.; «**Energías alternativas renovables. ¿Un futuro para Canarias?**», Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna, La Laguna (1983).



ENERGÍAS RENOVABLES



TECNOLOGÍA AMBIENTAL

