

**RECURSOS ENERGÉTICOS
ENERGÍAS UTILIZABLES**

RECURSOS ENERGÉTICOS ENERGÍAS UTILIZABLES

Calixto Ferreras Fernández
Meteorólogo, Físico-Matemático



Región de Murcia

Consejería de Agricultura y Agua

© Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
Consejería de Agricultura y Agua
Depósito Legal: MU-1.822-2009
Preimpresión: CompoRapid
Impresión: Imprenta Regional

Investigador: Calixto Ferreras Fernández

PRÓLOGO

En los últimos tiempos la **energía** se ha convertido en un asunto de interés mundial, del que todo el mundo opina. Y no es para menos, ya que asuntos como el precio del petróleo, el cambio climático y la eficiencia y ahorro energéticos, nos afectan de manera muy directa a todos, tanto en lo macro económico: factura energética, balance exterior, competitividad, etc., como en lo micro económico: precios de los combustibles, factura de la luz (hoy en día en los gastos del hogar, no es sólo la luz, hay que tener en cuenta: frigorífico, televisor, lavadora, lavavajillas, etc.).

Es frecuente encontrarnos noticias en los medios de comunicación referentes al sector energético: movimientos empresariales, el futuro de las energías renovables, crisis políticas entre países, etc. Al igual que ha sucedido en la última década en el sector financiero, por el que gran parte de los ciudadanos se han interesado, tratando de aprender, para obtener la máxima rentabilidad de su capital.

Con objeto de tratar de divulgar lo referente a las **energías utilizables** y a los **recursos energéticos disponibles**, el prestigioso meteorólogo físico-matemático y amigo, Don Calixto Ferreras Fernández, ha realizado un trabajo sobre esas materias que ayudará a la campaña que esta Consejería de Agricultura y Agua ha emprendido para concienciar a los ciudadanos sobre la necesidad de ahorrar energía.

Deseo que esta publicación, como las anteriores, reciba una excelente acogida en los ámbitos murcianos a los que va dirigida, así como a quienes sientan interés por acercarse a conocer cuestiones tan de actualidad como interesantes, que en estos momentos preocupan en especial en el mundo desarrollado.

Antonio Cerdá Cerdá

Consejero de Agricultura y Agua

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ENERGÍA	15
3. RADIACIÓN	15
3.1. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	22
4. DESARROLLO SOSTENIBLE	23
5. FUENTES DE ENERGÍA	29
5.1. PRIMARIA.....	31
5.2. SECUNDARIA.....	31
5.3. FINALES.....	32
6. ENERGÍA UTILIZABLE DE LA ATMÓSFERA	35
7. LA RADIACIÓN SOLAR	39
8. RECURSOS ENERGÉTICOS	49
8.1. RECURSOS ENERGÉTICOS NATURALES	55
9. ENERGÍA RENOVABLE	59
10. ENERGÍA SOLAR	63
10.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	67
10.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	69
11. ENERGÍA EÓLICA	71
12. ENERGÍA BIOMASA	77
12.1. BIOMASA NATURAL	79
12.2. BIOMASA RESIDUAL SECA.....	80
12.3. BIOMASA RESIDUAL HÚMEDA	80
12.4. CULTIVOS ENERGÉTICOS	80

12.5. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....	80
12.6. BIOMASA FORESTAL.....	81
12.7. BIOMASA AGRÍCOLA.....	81
12.7.1. Residuos de cultivos alimentarios.....	81
12.7.2. Residuos de cultivos no alimentarios.....	81
12.7.3. Cultivos energéticos.....	82
12.8. BIOMASA DE ORIGEN ANIMAL.....	82
12.8.1. Mataderos.....	83
12.8.2. Lonjas e industrias de primera transformación de pescado.....	83
12.9. BIOMASA ANTROPOGÉNICA.....	83
12.9.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	83
12.9.2. Aguas Residuales Urbanas (ARU).....	83
12.9.3. Residuos sólidos.....	84
12.9.4. Residuos líquidos.....	84
13. ENERGÍA HIDRÁULICA.....	85
14. ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	91
14.1. SISTEMAS HIDROTÉRMICOS.....	96
14.2. SISTEMAS GEOPRESURIZADOS.....	96
14.3. SISTEMAS DE ROCA CALIENTE.....	96
15. ENERGÍA NUCLEAR.....	97
16. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ENERGÉTICO.....	107
ANEXO I: La atmósfera terrestre.....	113
ANEXO II: Termodinámica de la atmósfera. La máquina climática.....	121
ANEXO III: Ciclo hidrológico perpetuo.....	129
7. BIBLIOGRAFÍA.....	133

1. INTRODUCCIÓN

La Naturaleza nos ha dado
las semillas del conocimiento,
no el conocimiento mismo.

Séneca

Dios ha querido que tengamos,
no el conocimiento, sino
solamente el uso de las cosas.

Cicerón

La Física es el idioma en que habla la Naturaleza

En la filosofía natural antigua, cada uno de los cuatro principios inmediatos fundamentales que se consideraban como elementos constituyentes de los cuerpos, se simbolizaban por la tierra, el agua, el aire y el fuego.

Aristóteles (384 a 322 años a.C.), filósofo y científico griego, considerado, junto a Platón y Sócrates, como uno de los pensadores más destacados de la antigua filosofía griega y posiblemente el más influyente en el conjunto de toda la filosofía occidental, ya tenía ideas muy modernas sobre la vida en nuestro planeta Tierra, decía que para que la vida pueda existir es condición necesaria la presencia simultánea de la tierra, el aire, el agua y el calor. La tierra y el aire existen en todo nuestro planeta, por lo general su calidad es la adecuada para no entorpecer el desarrollo de la vida. Quedan el agua y el calor: si uno de los dos falta, la vida desaparece.

La Meteorología es la parte de la Física que estudia el estado y los procesos que tienen lugar en la Atmósfera terrestre, este estudio tiene dos aspectos que se conocen como “Tiempo atmosférico” y “Clima”.

Tiempo atmosférico y clima son conceptos bien distintos. El tiempo atmosférico se refiere al elemento activo y cambiante de la acción atmosférica, es el estado de la Atmósfera definido por los elementos meteorológicos (variable o fenómenos atmosféricos) que permiten caracterizar el estado del tiempo meteorológico tales como pueden ser: temperatura del aire, presión atmosférica, humedad atmosférica, dirección y velocidad del viento, tipo y cantidad de nubes, precipitaciones, tormentas, granizo, nieblas, etc., en un lugar determinado y en un momento dado, es decir como una instantánea tomada a la atmósfera aquí y ahora.

El tiempo atmosférico es algo cambiante y nuevo a la vez cada día. No hay dos estados atmosféricos idénticos, ni tampoco lo que podrían ser sus

imágenes, los mapas sinópticos, los llamados “mapas del tiempo”. No existen dos días en que se repitan valores idénticos de los elementos meteorológicos. La atmósfera cada día presenta una fisonomía distinta. Podemos postular que no hay dos situaciones meteorológicas iguales, ya que si tal postulado fallara, se repetirían las situaciones, habría rigurosa periodicidad, de la que no hay constancia en las numerosas historias de los climas de los distintos lugares de la Tierra estudiados.

El clima lo entendemos como una síntesis de los estados atmosféricos posibles en un lugar de la Tierra, si bien la expresión “posibles” aquí resulta imprecisa.

El Tiempo meteorológico debe ser descrito como la transferencia de un punto a otro de nuestro Planeta de la energía que la Tierra recibe del Sol, tengamos en cuenta que esa transferencia energética se genera en el seno de un colosal sistema regido por factores cósmicos, astronómicos, atmosféricos, geográficos y geomorfológicos en constante interacción de intercambios energéticos entre los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso, sin que por ahora, podamos crear un modelo físico-matemático mínimo capaz de reproducir los más elementales cambios energéticos que tienen lugar en nuestro planeta Tierra.

La Atmósfera terrestre es una mezcla gaseosa formada por: Oxígeno (21% en volumen), Nitrógeno (78% en volumen), Argón (1% en volumen) y Dióxido de carbono (0,03% en volumen). Es un sistema muy complejo que tiene una identidad global, en la cual un proceso físico no se puede aislar de otros debido a la existencia de interacciones muy complejas e ingeniosas; se la puede considerar como un vasto escenario en el que se producen constantemente transferencias energéticas de una enorme complejidad, sobre todo en las superficies límites de separación: Atmósfera (gas) – Océanos (líquido) y Atmósfera (gas) – Tierras (sólido) y con intervención de cantidades de energía que el hombre no es capaz de producir ni controlar. La energía total transformada en la Atmósfera es del orden de un millón de veces superior al consumo energético mundial. Una simple tormenta de cierta importancia transforma tanta energía como la que viene a ser liberada en la explosión de una bomba de hidrógeno de tamaño medio. Un huracán de intensidad moderada “utiliza”, o pone en juego, una energía equivalente a la de un centenar de bombas de hidrógeno, sin que, por ahora, podamos crear un modelo físico-matemático mínimo, capaz de reproducir los más elementales intercambios energéticos que tienen lugar en nuestro Planeta Tierra, siendo la principal fuente energética la **radiación solar**.

Etimológicamente, clima significa inclinación, lo que alude a la inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de la eclíptica. No es casual que las primeras clasificaciones climáticas, atribuidas a Ptolomeo, se hicieran fundamentadas en el sucesivo incremento de la duración del día; así, se establecían 24 zonas climáticas en la Tierra. Clasificaciones ya en tiempos mucho más cercanos, han sido debidas a geógrafos y no pocos estudios climatológicos han venido apareciendo junto con los geográficos.

Son muchas las definiciones que se han elaborado acerca del clima. Para Sorre, se llama clima a la serie de estados de la atmósfera sobre un lugar en su sucesión habitual. Hann lo define como conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la Tierra. Para Monn, clima es un estado medio de los elementos meteorológicos de un lugar, y las variaciones ordinarias diurnas y anuales de los mismos. Contreras Arias define así el clima: es el conjunto de características que definen el estado más frecuente de la atmósfera y la distribución de los fenómenos meteorológicos, a través del año, en un lugar de la superficie de la Tierra. Thornthwaite, en una sesión de la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) presentó esta definición: Clima es la integración de los factores meteorológicos y climáticos que concurren para dar a una región su carácter y su individualidad. Poncelet definía como clima el conjunto fluctuante de elementos físicos, químicos y biológicos que caracterizan a la atmósfera en un lugar y su influencia sobre los seres vivos.

En la “Guía de Prácticas de Climatología”, de la OMM, aparece esta definición de Clima:

“Clima es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y la evolución del Tiempo atmosférico, en el curso de un período suficientemente largo en un dominio espacial determinado”.

Este conjunto de definiciones aporta varias ideas acerca de la evolución del concepto del clima; primitivamente, basado exclusivamente en la latitud geográfica de cada punto de la Tierra, para seguidamente aparecer conceptos estadísticos, tales como la media y la mediana primeramente y después la frecuencia. Poncelet aporta algo nuevo, al introducir el concepto de fluctuación, que luego recoge la OMM, y la influencia en el clima de factores químicos y biológicos.

Estas definiciones han sido útiles para muchas aplicaciones de la Climatología y para establecer clasificaciones y distribuciones espaciales de clima. Las dificultades aparecen cuando se plantea el problema del **cambio climático**

y más aún con la **lucha contra el cambio climático**; tal vez la dificultad más simple aparece cuando trata de establecerse una diferenciación basada en criterios no convencionales entre fluctuación y cambio climático.

La idea del Clima como **recurso económico** es relativamente nueva. Este hecho determinó que en los esquemas que el hombre ha construido sobre los **recursos naturales** de que se sirve para satisfacer sus necesidades –tanto indispensables como superfluas– generalmente el clima esté ausente. Si se indaga en las causas de esta omisión se destaca, en primer lugar, la dificultad de realizar una abstracción integrada del concepto de clima, porque el hombre lo percibe sólo por sensaciones imponderables, téngase en cuenta que “las sensaciones no tienen explicación, se viven”. En segundo lugar, en el período que cubre la historia de la civilización, las consecuencias del clima, a excepción del relato bíblico del Diluvio Universal, se registraron sólo como fenómenos o accidentes fortuitos naturales que no marcaron cambios muy trascendentes en la humanidad.

2. ENERGÍA

ENERGÍA: Fuerza, vigor. Eficacia, poder. Fuerza de voluntad, entereza de carácter, tesón en la actividad. Intensidad con que obra algún agente. Potencia activa de un organismo. Virtud para obrar o producir un efecto.

Física => Todo fenómeno físico lleva consigo una alteración del sistema (Sistema => Método o conjunto de reglas o principios conexos acerca de determinada materia) en que se verifica, bien por cambio de posición, bien por variación de sus propiedades, constitución o estado. En el fondo, para realizarse cualesquiera de estas alteraciones ha de desarrollarse cierto trabajo, ya sea debido a fuerzas exteriores (traslación de un cuerpo empujado por nosotros, por el viento, etc.) o bien a fuerzas interiores (por ejemplo una explosión). Este aserto prueba que en los cuerpos existe una cierta capacidad para poder realizar trabajo en forma de movimiento, luz, calor, electricidad etc. debido a su constitución, su posición o su movimiento. Precisamente a esta capacidad se la denomina energía y dado que esta permanece latente en el cuerpo, mientras no se manifieste explícitamente en forma de trabajo, su medida se efectúa por la del trabajo que puede originar o por la del trabajo que se ha realizado para dar al cuerpo su estado actual.

Como el trabajo es la manifestación externa de la energía, recibe también el nombre de energía actuante, mientras que se llama energía interna a la que se halla latente en los cuerpos.

La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La energía asociada al movimiento se conoce como energía cinética, mientras que la relacionada con la posición es la energía potencial. La energía se manifiesta en varias formas entre ellas la energía mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante, atómica, nuclear, etc. Todas las formas de energía pueden convertirse en otras formas mediante los procesos adecuados. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante; todas las formas de energía tienden a transformarse

en calor, que es la forma más degradada de la energía. Las observaciones empíricas del siglo XIX llevaron a la conclusión de que aunque la energía puede transformarse no se puede crear ni destruir; este concepto conocido como principio de conservación de la energía, constituye uno de los principios básicos de la Física clásica: el principio de la conservación de la energía que dice que la energía ni se crea ni se destruye, pero se transforma; actualmente y según la generalización de Einstein este principio se enuncia así: La suma total de la masa y la energía del Universo permanece constante, afirmación que constituye una de las bases fundamentales de la Física actual, la materia puede transformarse en energía y viceversa, principio de equivalencia entre la masa y la energía, que adquirió carta de naturaleza en la Física el año 1905 (Einstein), y que afirma que la energía posee inercia, a razón de 1 gramo por cada 9×10^{20} ergios, lo cual es lo mismo que decir que siempre que un sistema pierde o gana energía su masa disminuye o aumenta en la susodicha proporción. El número 9×10^{20} no es otra cosa que el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

El principio enunciado es aplicable a cualquier forma de energía. Un cuerpo que se enfría o que deja de moverse pierde masa,

1 gramo por cada 9×10^{13} joules. Evidentemente tales pérdidas no pueden medirse experimentalmente por su pequeñez.

Las modernas investigaciones, sin embargo, han permitido demostrar directamente el principio de equivalencia entre la masa y la energía, pues se ha podido poner de manifiesto la transformación de la energía radiante en corpúsculos materiales.

La radiación electromagnética posee energía que depende de su frecuencia y, por tanto, de su longitud de onda. Esta energía se comunica a la materia cuando absorbe radiación y se recibe de la materia cuando emite radiación.

Adviértase que no hemos definido la naturaleza de la energía, de la que en definitiva solo conocemos sus manifestaciones externas en forma de trabajo.

El trabajo realizado por una fuerza en la unidad de tiempo se denomina Potencia.

3. RADIACIÓN

Energía radiante o Radiación es el proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas. Las ondas y las partículas tienen muchas características comunes; no obstante, la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas. La radiación mecánica corresponde a ondas que solo se transmiten a través de la materia, como las ondas sonoras. La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Esta radiación abarca una gran variedad de energías. La radiación electromagnética con energía suficiente para provocar cambios en los átomos sobre los que incide se denomina radiación ionizante. La radiación de partículas también puede ser ionizante si tiene suficiente energía. Algunos ejemplos de radiación de partículas son los rayos cósmicos, los rayos alfa o los rayos beta. Los rayos cósmicos son chorros de núcleos cargados positivamente, en su mayoría núcleos de hidrógeno (protones). Los rayos cósmicos también pueden estar formados por electrones, rayos gamma, piones y muones. Los rayos alfa son chorros de núcleos de helio positivamente cargados, generalmente procedentes de materiales radiactivos. Los rayos beta son corrientes de electrones, también procedentes de fuentes radiactivas.

La radiación ionizante tiene propiedades penetrantes, importantes en el estudio y utilización de materiales radiactivos. Los rayos alfa de origen natural son frenados por un par de hojas de papel o unos guantes de goma. Los rayos beta son detenidos por unos pocos centímetros de madera. Los rayos gamma y los rayos X, según sus energías, exigen un blindaje grueso de material pesado como hierro, plomo u hormigón.

3.1. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas). La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Por orden decreciente de frecuencias (o crecientes de longitud de onda), el espectro electromagnético está compuesto por rayos gamma, rayos X duros y blandos, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, calor radiante, microondas, ondas de radio y ondas de televisión. Los rayos gamma y los rayos X duros tienen una longitud de onda de entre 0,005 y 0,5 nanómetros (un nanómetro, o nm, es una millonésima de milímetro o 10^{-9} metros). Los rayos X blandos se solapan con la radiación ultravioleta en longitudes de onda próximas a los 50 nm. La región ultravioleta, a su vez, da paso a la luz visible, que va aproximadamente desde 400 hasta 800 nm. Los rayos infrarrojos o “radiación de calor” se solapan con las frecuencias de microondas, radar y radiofrecuencia, entre los 10^5 y 4×10^5 nm. Desde esta longitud de onda hasta unos 15 km, el espectro está ocupado por las diferentes ondas de radio y televisión; más allá de esta zona el espectro entra en las bajas frecuencias, cuyas longitudes de onda llegan a medirse en decenas de miles de kilómetros.

Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad $c = 299.792$ km/s. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas relacionadas mediante la expresión $\lambda \cdot f = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

4. DESARROLLO SOSTENIBLE

Este término se viene aplicando al desarrollo económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, es decir conjugar al unísono estas tres componentes esenciales: **crecimiento económico, bienestar social y respeto al medio ambiente**. Hay dos conceptos fundamentales en lo que se refiere al uso y gestión sostenible de los recursos naturales de nuestro Planeta. En primer lugar, deben satisfacerse las necesidades básicas de la Humanidad: comida, ropa, lugar donde vivir y trabajo. Esto implica prestar atención a las necesidades, en gran medida insatisfechas, de los pobres del Mundo, ya que un Mundo en el que la pobreza es endémica será siempre proclive a las catástrofes ecológicas y de todo tipo. En segundo lugar, los límites para el desarrollo no son absolutos, sino que vienen impuestos por el nivel tecnológico y de organización social, su impacto sobre los recursos del Medio Ambiente y la capacidad de la Biosfera para absorber los efectos de la actividad Humana. Es posible mejorar tanto la tecnología como la organización social para abrir paso a una nueva era de crecimiento económico sensible a las necesidades ambientales.

Durante las décadas de los años 1970 y 1980 empezó a quedar cada vez más claro que los recursos naturales estaban dilapidándose en nombre del “desarrollo”. Se estaban produciendo cambios imprevistos en la Atmósfera, los suelos, las aguas, entre las plantas y los animales, y en las relaciones entre todos ellos. Fue necesario reconocer que la velocidad del cambio era tal que superaba la capacidad científica e institucional para ralentizar o invertir el sentido de sus causas y efectos. Estos grandes problemas Ambientales incluyen:

- a) el calentamiento global de la Atmósfera –el efecto invernadero–, debido a la emisión, por parte de la industria y de la agricultura, de gases –sobre todo dióxido de carbono, metano, óxido nítrico y clorofluorocarbonados– que absorben la radiación de onda larga reflejada por la superficie de la Tierra.

- b) el agotamiento de la capa de ozono de la Estratosfera, escudo protector del Planeta, por la acción de productos químicos basados en el cloro y el bromo, que permite una mayor penetración de rayos ultravioletas hasta su superficie.
- c) la creciente contaminación del agua y los suelos por los vertidos y descargas de residuos industriales y agrícolas.
- d) el agotamiento de la cubierta forestal –deforestación–, especialmente en los trópicos, por la explotación para leña y la expansión de la agricultura.
- e) la pérdida de especies, tanto de plantas como de animales, silvestres o domesticados, por destrucción de sus hábitats naturales, la especialización agrícola y la creciente presión a la que se ven sometidas las pesquerías.
- f) la degradación del suelo en los hábitats agrícolas y naturales, incluyendo la erosión, el encharcamiento y la salinización, que produce con el tiempo la pérdida de la capacidad productiva del suelo.

A finales del año 1983, el Secretario General de las Naciones Unidas le pidió a la Primera Ministra de Noruega que creara una comisión independiente para examinar estos problemas que sugiriera mecanismos para que la creciente población de nuestro Planeta pudiera hacer frente a sus necesidades básicas. El grupo de ministros, científicos, diplomáticos y legisladores celebró audiencias públicas en cinco continentes durante casi tres años. La principal tarea de la llamada “Comisión Brundtland” era generar una agenda para el cambio global. Su mandato especificaba tres objetivos: reexaminar cuestiones críticas relacionadas con el Medio Ambiente y el desarrollo, y formular propuestas realistas para hacerles frente; proponer nuevas fórmulas de cooperación internacional en estos temas capaces de orientar la política y los acontecimientos hacia la realización de cambios necesarios; y aumentar los niveles de concienciación y compromiso de los individuos, las organizaciones de voluntarios, las empresas, las instituciones y los gobiernos. El informe fue presentado ante la Asamblea General de las Naciones Unidas durante el otoño del año 1987.

En este objetivo básico del desarrollo sostenible, hoy compartido por la generalidad de las sociedades, las actividades energéticas en su conjunto y las eléctricas en particular podría decirse que constituyen un caso paradigmático, en la medida que inciden de lleno en esas tres componentes esenciales. Y lo hacen, además, no sólo en lo que se refiere a su producto

final –la gestión de la energía producida–, sino también en todo el proceso económico, empresarial y técnico que le antecede.

Con la energía de origen nuclear nos encontramos en uno de los escenarios en que con mayor nitidez se percibe esta realidad. Y así, por ejemplo, este tipo de energía puede valorarse por el efecto positivo que genera respecto a los recursos naturales que son de utilización en la generación eléctrica. Resulta claro que la opción nuclear permite no reducir otros recursos naturales –los procedentes de hidrocarburos, por ejemplo–, de una más limitada dimensión.

Pero, a su vez, esta opción nuclear sirve también a unos objetivos medioambientales, como los prescritos por el Protocolo de Kioto, por cuanto puede ser uno de los factores que permitan alcanzar las metas de reducción de las producciones de CO₂.

Sin embargo, en cualquier exposición de esta naturaleza no deben manejarse conceptos tan simplificados, que puedan acabar por rayar en la inconsistencia; y es que aún siendo totalmente ciertas las consideraciones anteriores, un mínimo de rigor exige que se sitúen y expliciten en su contexto más real. Ya han pasado los tiempos en los que parecía que todo se quería simplificar en un “sí” o un “no” tan genérico como poco madurado, para dar paso a una nueva época en la que resulta necesario conjugar esos por qué y para qué de toda decisión que vienen a resumirse en la secuencia que concreta toda actividad económica y empresarial: cantidad-precio-plazo-calidad.

El primer elemento que debiera contemplarse lo encontramos en ese juego de equilibrio entre intereses contrapuestos que caracterizan a la actividad energética, tanto si la contemplamos desde el lado de la demanda como si lo hacemos bajo el punto de vista de la oferta.

Hoy es comúnmente aceptado que el bienestar económico y social tiene una muy fuerte dependencia de su componente energético; pero no es menos cierto que esa realidad hay que sopesarla bajo el prisma de sus efectos respecto a la preservación de la naturaleza, por ejemplo. De aquí toma su fundamento la tesis, igualmente extendida, de la importancia de la gestión de la demanda (con: eficacia-ahorro-eficiencia) como el primer factor medioambiental: todo kilovatio ahorrado redundando directamente en una reducción del impacto en la naturaleza y es el medio que cualquier ciudadano puede activar de manera más directa para trabajar a favor del equilibrio presente y futuro en la naturaleza.

El otro polo de referencia podría situarse en las propias realidades energéticas y de las necesidades de cada entorno. En este sentido, resulta esencial

la valoración que cada sociedad haga respecto a factores estratégicos como el grado de dependencia que quiere para sus abastecimientos, las reglas del juego que mayoritariamente se establezcan en orden al medio ambiente, el modelo que defina el papel de las distintas opciones tecnológicas y el diseño de su política económica en este campo.

Una sociedad madura, como ocurre en los países occidentales del siglo XXI, no puede sustraerse a este debate, sino que por el contrario tiene que decidir cuales van a ser sus prioridades y criterios a este respecto, porque de esa decisión se va seguir de modo necesario el establecimiento de su modelo energético.

5. FUENTES DE ENERGÍA

Una fuente de energía no es más que un depósito de esta. En algunos casos es necesario transformarla para poder extraerle la energía y en otros no. En función de la fase de transformación en la que se encuentre la fuente de energía se clasifica como:

5.1. PRIMARIA

Es aquella fuente que se encuentra directamente en la naturaleza y no ha sido sometida a ningún proceso de transformación. Algunas requieren de procesos de transformación previos a su consumo, tales como: carbón, petróleo, gas natural y mineral de uranio, y otras no requieren procesos de transformación, tales como: sol, viento, agua embalsada y madera. En función de su disponibilidad en la naturaleza (cantidad limitada o inagotable), se pueden clasificar entre las no renovables (petróleo, carbón, gas natural y uranio) y las renovables (hidroeléctrica, eólica solar y biomasa). Las no renovables constituyen el 94% del consumo mundial de fuentes de energía primaria. Es importante tener en cuenta que, a excepción del mineral de uranio, todas las demás tienen como origen la radiación solar.

5.2. SECUNDARIA

Se denomina también vector energético. Su misión es transportar y/o almacenar la energía, pero no se consume directamente. El más importante es la energía eléctrica, a la que muchos expertos (organismos nacionales e internacionales) denominan también electricidad primaria. A partir de ella se obtiene energía mecánica y térmica. Otros vectores son el uranio enriquecido (materia prima para las centrales nucleares) y los carbones una vez se han preparado para su explotación en las centrales térmicas.

5.3. FINALES

Son las que consumimos cada día en viviendas, industrias y transportes. Las principales son los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleos, keroseno, butano, propano, etc.), el gas natural y la energía eléctrica. A partir de ella se extrae la energía en sus tres formas posibles: Energía luminosa, Energía mecánica y Energía térmica. Cada una de estas formas, a su vez, es susceptible de convertirse en cualquiera de las otras dos.

Exceptuando el caso del mineral de uranio, el origen del resto de las fuentes de energía radica en el Sol. Si consideramos que la vida tanto animal como vegetal existe en nuestro planeta Tierra gracias a la radiación solar, tenemos que el carbón, el gas natural y el petróleo, obtenidos por sedimentación durante millones de años de restos de animales y de vegetales provienen de la radiación solar, e igualmente pasa con la biomasa (maderas y residuos vegetales) y el biogas (procedente de restos orgánicos de animales). Por otra parte, el viento se produce como consecuencia de la diferencia de densidades entre distintas masas de aire, y el agua dulce proviene de la evaporación, por efecto de la radiación solar, en la capa límite de separación de océanos, ríos, lagos,... (estado líquido) y la atmósfera (estado gaseoso).

En la actualidad, están en fase de investigación y desarrollo otros mecanismos para obtener energía, tales como la acción gravitatoria de la Luna sobre la Tierra que da origen a las mareas (el movimiento de estas masas de agua se pueden aprovechar para tener energía). El calor existente en las capas interiores de la Tierra, esa energía térmica se puede utilizar directa o indirectamente. Algunas reacciones nucleares exotérmicas, ya se utiliza comercialmente la fisión de los átomos de uranio y desde hace años se investiga la fusión de los átomos de hidrógeno.

La unidad de medida de energía, habitualmente utilizada es la tonelada equivalente de petróleo (tep), su valor equivale a la energía obtenida en la combustión de una tonelada de petróleo y por lo tanto, variará en función del tipo de petróleo considerado.

Cada fuente de energía tiene diferente contenido energético, las fuentes con mayor contenido energético son las de origen fósil, carbón, petróleo, gas natural y el mineral de uranio. En principio, cuanto mayor sea el contenido energético de una fuente, más rentable será su explotación, aunque es necesario tener en cuenta los costes de localización, extracción, transformación, etc.

Las fuentes de energía primaria que han de ser transformadas para obtener las finales pasan por las siguientes etapas: prospección (localización), extrac-

ción, transporte hasta los centros de tratamiento, procesado (transformación), transporte hasta los centros de consumo y consumo. No existe la fuente de energía perfecta, todas presentan sus ventajas e inconvenientes; por ejemplo, el petróleo tiene muy alto contenido energético, pero su prospección y extracción resultan caras y la combustión de sus derivados emiten elementos nocivos; por el contrario, la energía eólica tiene una fuente de energía gratuita, inagotable y de fácil acceso, pero su contenido energético (energía por unidad de masa) es muy bajo y resulta imposible su almacenamiento.

6. ENERGÍA UTILIZABLE DE LA ATMÓSFERA

Desde mediados del siglo XIX se reconoce que la energía térmica contenida en el sistema Tierra - Atmósfera es inmensa en comparación con la energía cinética que acompaña la actividad atmosférica; pronto se asimiló el fundamento de esta última al de una máquina térmica, la **Máquina Climática** (ver Anexo II) cuyos manantiales cálido y frío podían atribuirse a las regiones tropicales y a los Polos, respectivamente. El calentamiento de aquellas y el enfriamiento de estos es, en último extremo, consecuencia de un intercambio desigual de energía radiante solar y el espacio exterior, que se realiza a todas las latitudes y a todos los niveles, dependiendo de factores variables como la nubosidad, contenido de vapor de agua, turbidez atmosférica, etc.

El problema del funcionamiento de la Máquina Climática es, pues, de una extraordinaria complejidad, como se comprende al considerar que posee infinitos manantiales y sumideros distribuidos no sólo latitudinalmente, sino también verticalmente, y cuya eficacia y temperatura son variables al compás de la actividad de la propia máquina termodinámica.

Un problema tan vasto sólo puede abordarse mediante su descomposición en aspectos parciales, sin perder de vista su conexión, y simplificados con la ayuda de hipótesis, algunas de ellas justificables científicamente y otras sólo por criterios de buen sentido.

Hay que reconocer, sin embargo, que inicialmente fueron pocos los científicos que abordaron el problema, ya que los meteorólogos, hasta época relativamente reciente, tenían, al menos, tres razones para rehuirlo; su enorme complejidad, la falta de datos precisos que permitieran esbozar la intensidad de los intercambios radiactivos Tierra - Atmósfera - Espacio exterior y aún de los internos a la propia Atmósfera y, por último, la fecundidad que acompañó a los primeros ensayos de justificar las características más salientes del movimiento de la Atmósfera mediante la aplicación de la Mecánica y de la Termodinámica, al caso de un fluido en movimiento sobre una esfera en rotación.

Se denomina energía utilizable de la atmósfera a la diferencia en contenido de energía total (térmica más potencial) entre la atmósfera considerada y una atmósfera isoterma (atmósfera muerta) con igual entropía, masa y composición que la dada y en la que las superficies isobaras y equipotenciales coinciden (equilibrio hidrostático), esta definición se considera como válida para una atmósfera seca, o en la que no tuviese lugar fenómenos importantes de cambios de fase del vapor de agua. Para su generalización al caso de la atmósfera en la que se producen condensaciones, conviene relacionar la energía total (o potencial total) con la entalpía.

La generación de energía utilizable en la atmósfera se origina, de modo prácticamente exclusivo, por intercambios radiactivos. Cuando estos se producen en el sentido de enfriar las regiones cálidas de la atmósfera, o calentar las regiones frías, tiene lugar, evidentemente, una disminución de energía utilizable. Por el contrario, si predomina el enfriamiento de regiones frías y el calentamiento de regiones cálidas se genera energía utilizable. Como, de hecho, la atmósfera se encuentra en movimiento, hemos de concluir que en su conjunto los intercambios radiactivos deben de producir energía utilizable, que después se disipará por mezcla de masas de aire de distinta temperatura, por acciones turbulento-viscosas y por transporte de calor advectivo - convectivo - conductivo en el seno de la misma. La máquina climática reconoce, en última instancia, el Sol como fuente cálida y el resto del espacio exterior como fuente fría. Los intercambios de calor entre estas fuentes son irreversibles y los procesos internos de esta máquina de enorme complejidad. Por otra parte la superficie límite de separación atmósfera (gas) con terrestre (sólida) y con océanos, ríos, lagos,... (líquida) constituye una tercera fuente térmica de características térmicas variables y muy complejas.

El conocimiento detallado de esos intercambios energéticos permiten calcular la generación de energía utilizable en todas las circunstancias.

7. LA RADIACIÓN SOLAR

La energía necesaria para desarrollar toda la actividad que tiene lugar en el conjunto tierra - atmósfera procede del Sol, se sabe que excepto una insignificante cantidad procedente de otros astros o de las estrellas, toda la energía radiante o radiación que llega a la Tierra procede del Sol, fuente del calor y de la luz que sustenta la vida de nuestro planeta Tierra y llega casi en su totalidad en forma de radiación electromagnética, Los procesos que se desarrollan como consecuencia de la acción de la radiación solar y los sistemas suelo - atmósfera y agua - atmósfera sobre todo en las capas límites de separación de los medios que intervienen en esos sistemas, son muy complejos y de difícil interpretación con los conocimientos que actualmente se tiene de ellos.

El volumen del Sol es aproximadamente $1,3 \cdot 10^6$ veces el de la Tierra; su diámetro, de unos $1,4 \cdot 10^6$ km, es 109 veces el de la Tierra; su masa, aproximadamente 332.000 veces la de la Tierra; su densidad, $1,37 \text{ gr/cm}^3$, aproximadamente 0,25 la de la Tierra; la intensidad de la gravedad, en su superficie, $2,74 \cdot 10^4$ dinas/gr o sea, aproximadamente, 28 veces la de la Tierra en su superficie, y la distancia a nuestro Planeta, $149,6 \cdot 10^6$ km. El Sol se traslada en el espacio con una velocidad aproximada de 70.000 km/hora ($19,5 \text{ km/seg.}$), dirigiéndose hacia 10 grados al SW de la estrella Vega, de la constelación Lira, y gira sobre si mismo en un período de tiempo de aproximadamente 27 días, no girando todas sus partes con la misma velocidad de rotación.

El Sol, debido a su alta temperatura, de unos 6.000 °K (grados Kelvin) en su superficie, y a que el medio que le rodea está a menor temperatura, emite al espacio corpúsculos y energía o calor en forma de ondas electromagnéticas, y esta energía puede ser captada en mayor o menor cuantía por los cuerpos próximos o alejados que lo rodean. La temperatura en el núcleo central se estima entre 12 y 21 millones de grados Kelvin; también en el núcleo central la densidad está comprendida entre 45 y 115 gr/cm^3 ; la presión, entre mil y cien mil millones de atmósferas. En su interior se transforman

unos 700 millones de toneladas de hidrógeno en helio y la pérdida de masa transformada en energía radiante es de unas $4,3 \cdot 10^6$ Tm /seg, que supone unos $6 \cdot 10^9$ años para consumir el 10% de su hidrógeno.

Independientemente del aspecto anterior, la transmisión de la energía o calor de uno a otro cuerpo puede hacerse: por conducción y por convección, que supone la existencia de un vehículo agente o medio ponderable que transmita esa energía o calor; y por radiación, que no utiliza ningún medio ponderable; es decir su transmisión se realiza en el vacío. La primera de las transmisiones citada se realiza por contacto directo, por choque, de las partículas activadas con las que están en reposo o menos activadas, con lo cual van adquiriendo más energía, calor, y elevando la temperatura hasta un estado dependiente de la magnitud, masa, del cuerpo emisor, de la distancia a el y de su temperatura. La segunda de las trasmisiones citada implica el movimiento de la sustancia caliente, o de un fluido, de uno a otro punto. La tercera trasmisión, la más interesante, por cuanto ella facilita la vida de nuestro Planeta, se realiza mediante ondas electromagnéticas; es decir, la energía emitida por el cuerpo o foco más caliente se realiza mediante pequeños paquetes o gránulos de energía, cuantos de energía, obedeciendo a las leyes de la radiación; de tal manera que estos gránulos, cuantos o paquetes de energía, al ser absorbidos por los cuerpos y comunicarles esta energía, van activándose y elevando la temperatura, convirtiéndose a su vez en cuerpos emisores con un estado de equilibrio energético, balance entre la que acepta y emite. Las ondas emitidas por el Sol cubren una amplia gama que va desde muy larga longitud de onda, del orden de centenares de metros, a muy corta longitud de onda, del orden de milésimas de milímetro; o sea desde las ondas electromagnéticas de la radiodifusión a la microondas, pasando por las del espectro visible, o luz, y las ondas del rojo e infrarrojo.

La energía emitida por metro cuadrado de superficie solar cada segundo es de $6,41 \cdot 10^7$ julios, que corresponde a la emisión de un metro cuadrado de superficie, de un cuerpo negro a la temperatura efectiva de aproximadamente 6000 °K. Esta radiación no es uniforme para toda la superficie del Sol, vista desde un punto de la Tierra, pues en la parte central del disco solar la radiación es mayor que en los bordes, ya que en promedio, en la parte central, procede de capas más profundas y, por tanto, a más alta temperatura.

La radiación solar que incide en el límite superior de la Atmósfera es un factor y al mismo tiempo un elemento del clima; es el factor básico, el motor que va a dar lugar a que al calentar más las zonas ecuatoriales que las zonas polares, se produzcan masas de aire de distintas temperaturas y

humedades, que tenderán a desplazarse. Los movimientos que se generan son muy complejos, debido a las distorsiones que introducen la rotación de la Tierra, la precesión de los equinoccios y la nutación, y a la desigual distribución de océanos y continentes y a la topografía y albedo del suelo sobre el que se desplazan, pero acaban dando un balance neto de circulación de aire cálido (seco o húmedo) hacia los polos y de aire frío (seco o húmedo) hacia el ecuador; movimientos de masas de aire tanto en sentido horizontal como vertical y en consecuencia a calentamientos y enfriamientos del aire, a evaporaciones y condensaciones del agua y a precipitaciones y vientos; es decir a toda la dinámica de la Atmósfera, fenómenos elementales esenciales que intervienen en la Máquina Climática.

La influencia de los factores astronómicos en la investigación sobre el cambio climático (únicos de tipo cíclico y matemáticamente predecibles), han sido analizados por el método de Fourier y se ha llegado a la conclusión de que las variaciones de los movimientos de la Tierra en su órbita son la causa primera de los ciclos climáticos; así: la precesión de los equinoccios origina un ciclo de 25.800 años, la inclinación del eje de rotación de la Tierra un ciclo de 40.000 años y la oscilación de la excentricidad de la eclíptica un ciclo de 92.000 años. También influyen las manchas solares, las protuberancias, las fáculas,... al parecer con ciclos de 11 años. El astrónomo A. Berger de la universidad de Lovaina ha confeccionado un modelo matemático para determinar las insolaciones producidas en la Tierra, mes a mes, en todas las latitudes, estudio que abarca un millón de años, con lo que se pueden deducir los climas de los siglos futuros, en cuanto a la influencia de los factores astronómicos, en las distintas latitudes de la Tierra. Actualmente el perihelio tiene lugar el 3 de enero y el afelio el 4 de julio, o sea muy próximos todavía a los solsticios de invierno y verano del hemisferio norte, pero de los que se están alejando lentamente de manera que en el plazo de unos 10.000 años el perihelio y el afelio coincidirán con los solsticios de verano y de invierno, respectivamente, lo que implicará que los veranos del hemisferio norte recibirán del 3 al 4 por ciento más radiación que hoy día, es decir, serán más cálidos.

Las naturales fluctuaciones climáticas milenarias van asociadas a variaciones lentas de la geometría orbital terrestre como la excentricidad de la eclíptica modificada por efecto de los campos gravitatorios de otros planetas, sobre todo Júpiter y Saturno (porque son muy grandes) y Venus (porque se nos acerca mucho) y también por la Luna. El parámetro de excentricidad de la eclíptica no es constante; su valor actual es de 0,017 y ha oscilado entre 0,0 y 0,6. Su desarrollo en serie tiene el término más importante con

un período de 413.000 años y los siguientes con períodos que oscilan entre 95.000 y 136.000 años. Sin entrar en detalles de cálculo, puede decirse que el ciclo de excentricidad es del orden de los 100.000 años. Dicho ciclo puede afectar especialmente en el solsticio de verano. Además hay otro factor astronómico a combinar con la excentricidad de la eclíptica, que es la inclinación del eje de rotación de la Tierra sobre el plano de la eclíptica, que cambia lentamente de orientación describiendo una superficie cónica cuyo eje es perpendicular al plano de la eclíptica, en la actualidad este eje de rotación está orientado apuntando hacia la estrella Polar y el período de este movimiento es, aproximadamente, de unos 22.000 años. Este movimiento se conoce como de “precesión de los equinoccios”, porque es el que conduce al lento desplazamiento de los equinoccios a lo largo del tiempo; este desplazamiento es, aproximadamente, de un día por cada 57 años, con lo cual en 10.500 años el equinoccio de primavera (20 de marzo) que arrastra con él a todas las estaciones del año, se encontrará en la fecha actual del equinoccio de otoño (22 de septiembre) con lo que los meses que ahora son de invierno en nuestro hemisferio pasarán a ser de verano.

El parámetro de oblicuidad, ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la eclíptica, en la actualidad es de $23,5^\circ$, pero ha experimentado variaciones de entre 22° y 25° , con un período de 41.000 años.

Continuamente llega energía procedente del sol durante el día en forma de radiación electromagnética en cuyo espectro y clasificadas según sus longitudes de onda de menor a mayor hay: Radio - ondas largas, normales y cortas, muy cortas (V.H.F.) y ultracortas (U.H.F.), Microondas, Infrarrojas, Luz visible, Ultravioletas, Rayos X, y Rayos gamma.

Procedente de los espacios cósmicos llega la “radiación cósmica”, formada por partículas elementales que, procedentes de los espacios siderales, alcanzan la atmósfera y está constituida por nucleones, por lo que se llama componente nucleónica, formada por protones y neutrones con elevadísima energía.

El efecto neto de las transferencias de energía en el sistema Atmósfera-Tierra como promedio para todo el Globo y para un período de un año es de unos 340 W/m^2 .

El comportamiento de la atmósfera con respecto a la radiación solar es que parte de la radiación global incidente, un 24%, es absorbida, otra parte, un 31%, es reflejada (albedo planetario) y el 45% restante alcanza la superficie terrestre. El efecto difusor de las moléculas de aire y de las

partículas de polvo atmosférico sobre las radiaciones de longitud de onda del espectro visible es lo que origina que el cielo que observamos desde la Tierra aparezca como de color azul.

La configuración de la radiación terrestre hacia la atmósfera es completamente distinta y así se explica que la atmósfera se caliente de abajo hacia arriba (Parece natural, según nuestras sensaciones, que cuanto más próximos estemos de un foco calorífico mayor cantidad de calor recibiremos y así cuanto más nos acerquemos al sol mayor temperatura deberíamos registrar). Este calentamiento de abajo hacia arriba en la atmósfera es debido al distinto comportamiento de la atmósfera respecto a la radiación procedente del Sol y a la procedente de la Tierra; con respecto a la radiación procedente del Sol, es transparente a las radiaciones infrarrojas (calor) del intervalo de longitudes de onda $0.8 \mu\text{m} < \lambda < 1\text{mm}$, y absorbe las radiaciones ultravioletas de longitudes de onda $0.01 \mu\text{m} < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$.

El comportamiento de la Tierra con respecto a la radiación solar es que según el albedo, refleja y absorbe sobre todo radiaciones del infrarrojo, pero irradia infrarrojos con mayor longitud de onda que la absorbida, y para esas longitudes de onda la atmósfera ya no es transparente, su poder absorbente es grande y como además la densidad del vapor de agua decrece bastante rápidamente con la altura, las capas más bajas de la atmósfera son las que más se calientan, de tal manera que las demás capas sólo lo hacen a través de una propagación de capa en capa por conducción, favorecida por la turbulencia, por lo que la atmósfera se calienta de abajo hacia arriba. Además los intercambios de radiación infrarroja (calor) comprenden a todo el globo las 24 horas del día, mientras que la insolación afecta solo al hemisferio iluminado por el Sol.

Las variaciones anuales y diurnas de la temperatura están directamente relacionadas con el balance de radiación local. Bajo cielos despejados, en latitudes bajas y medias, el régimen diurno de intercambios de radiación generalmente presenta un máximo de radiación solar absorbida a mediodía. La superficie calentada del suelo también emite un máximo de radiación infrarroja (de onda larga) a mediodía, cuando está más caliente. La atmósfera vuelve a irradiar infrarroja hacia abajo, pero existe una pérdida neta en la superficie de la Tierra. La diferencia entre la radiación absorbida y la irradiada por la superficie de la Tierra es precisamente la radiación neta, esta es generalmente positiva entre aproximadamente una hora después de la salida del sol y una hora más o menos antes del ocaso, con un máximo a mediodía. El retraso en la aparición de la máxima temperatura del aire hasta aproximadamente las 14 horas locales es causado por el calentamiento

gradual del aire por transferencia convectiva desde el suelo. Por la tarde la irradiación excede a la absorción y la temperatura disminuye; finalmente por la noche no hay absorción mientras que la irradiación continua y el descenso de la temperatura se exagera hasta alcanzar la mínima temperatura del aire que se registra poco después del alba, debido al retraso en la transferencia de calor.

Cuando se producen tempestades electromagnéticas que agitan muy a menudo la superficie solar, son proyectadas con enorme energía al espacio una gran cantidad de rayos X y rayos γ , al igual que fragmentos de su atmósfera: electrones, hidrógeno, helio, etc. Estas radiaciones y partículas son mortales a corto plazo para todo ser vivo al que llegan a alcanzar, pero la atmósfera actúa a modo de coraza protectora de tal manera que a unos 80 km de altitud ya casi no se detectan. No obstante existen radiaciones nocivas que el simple espesor de nuestra atmósfera no basta para detenerlas. En efecto la atmósfera terrestre es transparente para todos los fotones de baja energía que el sol emite en abundancia: ondas de radio-frecuencia, parte de infrarrojos, espectro visible, y radiaciones ultravioletas, que atraviesan la atmósfera sin ser absorbidos. Las radiaciones ultravioletas son peligrosas e incluso muy peligrosas en cuanto a que los tejidos vegetales y animales son destruidos al exponerlos a esas radiaciones. Pero en la atmósfera existe, en muy pequeña cantidad, un componente gaseoso que es el ozono (un estado alotrópico del oxígeno caracterizado por constar su molécula de tres átomos). En las proximidades del suelo, el ozono solo se forma en circunstancias muy particulares, por ejemplo en las descargas eléctricas; pero a gran altitud, una escasa proporción de las moléculas de oxígeno se disocian, absorbiendo radiación ultravioleta de muy corta longitud de onda ($\lambda < 0.2 \mu\text{m}$) y los átomos de oxígeno así producidos se fijan en las moléculas de oxígeno que permanecen sin disociarse, para formar moléculas de ozono.

El ozono se encuentra esencialmente en la base de la estratosfera a unos 20 km de altitud, pero los movimientos de las masas de aire transportan sus moléculas a altitudes mucho mas bajas. En total, la proporción de ozono en la atmósfera es ínfima, solo de un tercio de unidad por millón, pero esto basta para que sean absorbidos los fotones ultravioletas, que los restantes componentes de la atmósfera dejarían pasar. De este modo, gracias al ozono, la vida vegetal y animal puede existir en nuestro planeta.

Esta Atmósfera que da albergue a tantas plantas y animales, no siempre fue tal como es en la actualidad. En dos oportunidades, como mínimo, sufrió cambios profundos, pero está ligada indisolublemente a la Tierra y se ha formado en el transcurso de acontecimientos extraordinarios que condujeron

a la formación de un inmenso conjunto de estrellas y de materia interestelar que constituyen nuestra galaxia.

Hace 265 millones de años, en el periodo carbonífero, la temperatura media del hemisferio norte era unos 10 °C superior a la actual, estimándose que la proporción de anhídrido carbónico existente en la atmósfera era nueve veces la de hoy, constituyéndose los primeros depósitos de lignito que luego, pasados algunos millones de años, se transformaron en carbón. También de variedades de plancton se formaron depósitos de petróleo. Parte de esos depósitos son ahora los yacimientos de lignito, carbón y petróleo que están en explotación. Se calcula que los depósitos formados en ese periodo carbonífero contienen 400 billones de toneladas de carbono.

Hace 200 millones de años el Polo Sur de la Tierra estaba en donde actualmente está el Desierto del Sahara.

8. RECURSOS ENERGÉTICOS

Al conjunto de medios con los que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía se les denomina **recursos energéticos**.

La energía es la base de la civilización industrial; sin ella, la vida moderna no existiría. Durante la década de los años 1970, el mundo empezó a ser consciente de la vulnerabilidad de los recursos energéticos disponibles; es posible que, a largo plazo, las prácticas de conservación de energía proporcionen el tiempo suficiente para explorar nuevas posibilidades tecnológicas. Mientras tanto el mundo seguirá siendo vulnerable a trastornos en el suministro de petróleo, que después de la II Guerra Mundial se convirtió en la principal fuente de energía.

La leña fue la primera fuente de energía para el ser humano, y la más importante durante la mayor parte de su historia. Era muy asequible porque en muchas partes del mundo crecían grandes extensiones de bosques. Después, también llegaron a usarse algunas otras fuentes de energía que sólo se encontraban en zonas puntuales: asfalto, carbón y turba de depósitos superficiales, y petróleo procedente de filtraciones de yacimientos subterráneos.

La situación cambió en la Edad Media cuando la leña se empezó a utilizar para fabricar carbón vegetal, que se empleaba para obtener metales a partir de sus menas. A medida que se talaban los bosques y disminuía la cantidad de leña disponible, en los comienzos de la Revolución Industrial, el carbón vegetal fue sustituido en la obtención de metales por el coque procedente del carbón. El carbón, que también se empezó a utilizar para propulsar las máquinas de vapor, se fue convirtiendo en la fuente de energía dominante a medida que avanzaba la Revolución Industrial.

Aunque hacía siglos que el petróleo se empleaba en campos tan diferentes como la medicina o la construcción, la moderna era del petróleo empezó con la perforación de un pozo comercial en Pensilvania (Estados Unidos), en el año 1859. La industria petrolera estadounidense creció rápidamente, y

surgieron numerosas refinerías para fabricar productos derivados del petróleo crudo. Las compañías petroleras empezaron a exportar su principal producto, el queroseno –empleado para iluminación–, a todas las zonas del mundo. El desarrollo del motor de combustión interna y del automóvil creó un enorme mercado nuevo para otro importante derivado del petróleo, la gasolina. Un tercer producto, el gasóleo de calefacción, empezó a sustituir al carbón en muchos mercados energéticos.

Las compañías petroleras, la mayoría estadounidenses, encontraron inicialmente reservas de crudo mucho mayores en Estados Unidos que en otros países. Esto hizo que las compañías petroleras de otros países –sobre todo Gran Bretaña, Países Bajos y Francia– empezaran a buscar petróleo en muchas partes del mundo, especialmente en Oriente Próximo. Los británicos iniciaron la producción del primer campo petrolífero en esa zona (concretamente en Irán) justo antes de la I Guerra Mundial. Durante la guerra, la industria petrolera estadounidense produjo dos tercios del suministro mundial de petróleo a partir de yacimientos nacionales, e importó un sexto de Méjico. Al final de la I Guerra Mundial, y antes del descubrimiento de los productivos campos petrolíferos de Texas (Estados Unidos), con sus reservas afectadas por el esfuerzo bélico, se convirtió en un importador neto de petróleo durante algunos años.

A lo largo de las tres décadas siguientes, con el apoyo ocasional del gobierno federal de Estados Unidos, las compañías petroleras de ese país se expandieron con enorme éxito por el resto del mundo. En el año 1955, las cinco principales empresas de petróleo de Estados Unidos producían los dos tercios del petróleo del mercado mundial (sin incluir América del Norte y el bloque soviético). Dos compañías británicas producían casi un tercio, mientras que los franceses sólo producían una quincuagésima parte. Las siete principales compañías estadounidenses y británicas proporcionaban al mundo cantidades cada vez mayores de petróleo barato procedente de las enormes reservas de Oriente Próximo. El precio internacional era aproximadamente de un dólar por barril; durante esa época, Estados Unidos era en gran medida autosuficiente, y sus importaciones estaban limitadas por una cuota.

Dos grupos de acontecimientos simultáneos transformaron ese suministro seguro de petróleo barato en un suministro inseguro de petróleo caro. En el año 1960, indignados por los recortes de precios unilaterales llevados a cabo por las siete grandes compañías petroleras, los gobiernos de los principales países exportadores de petróleo –Venezuela y cuatro países del golfo Pérsico– formaron la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) para intentar evitar mayores recortes en el precio que recibían por

su petróleo. Lo consiguieron, pero durante una década no lograron subir los precios. Entre tanto, el aumento del consumo de petróleo, sobre todo en Europa y Japón, donde el petróleo desplazó al carbón como fuente primaria de energía, provocó una enorme expansión de la demanda de productos derivados del petróleo.

El año 1973 marcó el final de la era del petróleo seguro y barato. En octubre, como resultado de la guerra entre árabes e israelitas, los países árabes productores de petróleo recortaron su producción y embargaron el suministro de crudo a Estados Unidos y a los Países Bajos. Aunque el recorte árabe representaba una pérdida de menos del 7% del suministro mundial, provocó el pánico en las compañías petroleras, en los consumidores, en los operadores del petróleo y en algunos gobiernos. Cuando unos pocos países productores comenzaron a subastar parte de su crudo se produjo una puja desenfrenada que alentó a los países de la OPEP, que por entonces eran ya trece, a subir el precio de todo su petróleo a niveles hasta ocho veces superiores a los precios de pocos años antes. El panorama petrolero mundial se calmó gradualmente, ya que la recesión económica mundial provocada por el aumento de los precios del petróleo recortó la demanda de crudo. Entretanto, la mayoría de los gobiernos de la OPEP se hicieron con la propiedad de los campos petrolífero situados en sus países.

En el año 1978 comenzó una segunda crisis del petróleo cuando, como resultado de la revolución que acabó destronando al Sha de Irán, la producción y exportación iraní de petróleo cayeron hasta niveles casi nulos. Como Irán había sido un gran apostador, el pánico volvió a cundir entre los consumidores. Una repetición de los acontecimientos del año 1973, incluidas las pujas desorbitadas, volvió a provocar la subida de los precios del crudo durante el año 1979. El estallido de la guerra entre Irán e Irak en el año 1980 dio un nuevo impulso a los precios del petróleo. A finales del año 1980 el precio del crudo era diecinueve veces superior al que tenía en el año 1970.

Los elevados precios del petróleo volvieron a provocar una recesión económica mundial y dieron un fuerte impulso a la conservación de energía; a medida que se reducía la demanda de petróleo y aumentaba la oferta, el mercado del petróleo se fue debilitando. El crecimiento significativo en la oferta de petróleo de países ajenos a la OPEP, como Méjico, Brasil, Egipto, China, la India o los países del mar del Norte, hizo que los precios del crudo cayeran aún más. En el año 1989, la producción soviética alcanzó los 11,42 millones de barriles diarios y supuso el 19,2% de la producción mundial de ese año.

A pesar de que los precios internacionales del petróleo se han mantenido bajos desde el año 1986, la preocupación por posibles trastornos en el suministro ha seguido siendo el foco de la política energética de los países industrializados. Las subidas a corto plazo que tuvieron lugar tras la invasión iraquí de Kuwait reforzaron esa preocupación. Debido a sus grandes reservas, Oriente Próximo seguirá siendo la principal fuente de petróleo en el futuro previsible.

El petróleo crudo y el gas natural se encuentran en cantidades comerciales en cuencas sedimentarias situadas en más de cincuenta países de todos los continentes. Los mayores yacimientos se encuentran en Oriente Próximo, donde se hallan más de la mitad de las reservas conocidas de crudo y casi una tercera parte de las reservas conocidas de gas natural. En comparación, Estados Unidos de América sólo contiene un 6% de los recursos conocidos.

Geólogos y otros científicos han desarrollado técnicas que indican la posibilidad de que exista petróleo o gas natural en las profundidades. Estas técnicas incluyen la fotografía aérea de determinados rasgos superficiales, el análisis de la desviación de ondas de choque por las capas geológicas y la medida de los campos gravitatorio y magnético. Sin embargo, el único método para confirmar la existencia de petróleo o gas natural es perforar un pozo que llegue hasta el yacimiento. En muchos casos, las compañías petroleras gastan millones de dólares en perforar pozos en zonas prometedoras y se encuentran con que no existe petróleo ni gas natural en esos pozos. Durante mucho tiempo, la inmensa mayoría de los pozos se perforaban en tierra firme. Después de la II Guerra Mundial se empezaron a realizar perforaciones en aguas poco profundas desde plataformas sostenidas por pilotes apoyados en el fondo del mar. Posteriormente se desarrollaron plataformas flotantes capaces de perforar en aguas de hasta 8 km de profundidad. Se han encontrado importantes yacimientos de petróleo y gas natural en el mar: en Estados Unidos de América (sobre todo en el golfo de Florida), en Méjico, en Europa, sobre todo en el mar del Norte, en Rusia (en el mar de Barents y en el mar de Kara) y en las costas de Brasil.

El petróleo crudo se transporta a las refinerías mediante oleoductos, barcazas o gigantescos petroleros oceánicos. Las refinerías contienen una serie de unidades de procesado que separan los distintos componentes del crudo calentándolos a diferentes temperaturas, modificándolos químicamente y mezclándolos para fabricar los productos finales, sobre todo gasolina, queroseno, gasóleo, combustible para aviones con motores de reacción,

gasóleo de calefacción, aceite pesado, lubricantes y materias primas para las plantas petroquímicas.

El gas natural se suele transportar por gaseoductos hasta los consumidores, que lo utilizan como combustible o, en ocasiones, para fabricar productos petroquímicos. Se puede licuar a temperaturas muy bajas y transportar en buques especiales; este método es mucho más costoso que transportar petróleo en un petrolero. El petróleo y el gas natural compiten en numerosos mercados, especialmente el de la calefacción de viviendas, oficinas, fábricas y procesos industriales.

En sus orígenes, la industria petrolera generaba una contaminación medioambiental considerable. A lo largo de los años, bajo la doble influencia de los avances tecnológicos y el endurecimiento de las normas, se ha ido haciendo mucho más limpia. Los vertidos de las refinerías han disminuido mucho y aunque se siguen produciendo explosiones en los pozos, son relativamente infrecuentes gracias a las mejoras tecnológicas. Sin embargo, resulta más difícil vigilar la situación en los mares. Los petroleros oceánicos siguen siendo una fuente importante de vertidos de petróleo al mar.

Otra fuente de contaminación relacionada con la industria petrolera es el azufre que contiene el crudo. Las reglamentaciones de los gobiernos nacionales y locales restringen la cantidad de dióxido de azufre que pueden emitir las fábricas y centrales térmicas. Sin embargo, como la eliminación de azufre resulta cara, las normas todavía permiten que se emita a la atmósfera algo de dióxido de azufre.

El gas natural es mucho más limpio que el petróleo. Como es gaseoso a temperatura ambiente, no contamina los ríos y los océanos. Además, como suele contener poco azufre, se quema de forma limpia.

8.1. RECURSOS ENERGÉTICOS NATURALES

La gran sequía continental de la década de los años 30, en ambos hemisferios, conjuntamente con el mal manejo agrícola de la tierra, produjo simultáneamente el “dust bowl” en los estados centrales de los Estados Unidos de América y un fenómeno similar en el oeste de la Región Pampeana de la Argentina, que muchos consideraron casi irreversible. Fue este un hecho que despertó en América una conciencia nacional pública e internacional, sobre la necesidad de ajustar normas de uso y manejo de los recursos naturales renovables. Así se originó la doctrina conservacionista creciente de los recursos naturales, contrapuesta a su consumo indiscri-

minado por el desarrollo, problema actual que domina y preocupa a la economía moderna.

Desde las primeras reuniones internacionales sobre la conservación de los recursos naturales renovables como la “Inter-Americana”, realizada en Denver (Colorado) en el año 1948 y la “Conferencia Científica de las Naciones Unidas”, en Lake Success (New York) en el año 1949, en los Estados Unidos de América, hasta el comienzo de la década de los años 80 del siglo pasado, la atención por la conservación de los recursos naturales se concentró sobre los tangibles y concretos y el clima, no se encontró tratado como tal entre ellos.

El esquema estático de los recursos naturales disponibles para el desarrollo de las sociedades humanas, sobre la base de estos hechos y de las ideas que generaron, se puede sintetizar en la siguiente enumeración:

A) Recursos naturales **renovables**:

1. Agua.
2. Suelo.
3. Vegetación natural.
4. Vida animal silvestre.

B) Recursos naturales **perecederos**:

1. Carbón.
2. Petróleo.
3. Otros productos minerales.

El uso cada vez más creciente de la información climatológica en la planificación y operación racional del uso de la tierra, después de la Segunda Guerra Mundial, contribuyó a concretar la idea de que el clima es un real recurso económico. En la década de los años 50 del siglo pasado, Davitaia (años 1954 y 1955) y otros autores soviéticos después (Golzberg y Drosdova, año 1956; Davitaia y Saposhnicova, año 1962; Davitaia, Saposhnicovia y Shashko, año 1973, entre otros), introdujeron el concepto de “recurso climático y agroclimático” para definir aquellas condiciones del clima que, además del agua, significan consecuencias económicas.

Los trabajos de fines de la década de los años 60 y comienzos de la década de los años 70 del siglo pasado, como los de Maunder (años 1968, 1970, 1972), Taylor (años 1960, 1970, 1974) y Perry (año 1971), tuvieron una motivación similar; si bien sus enfoques sobre la influencia del clima y

del tiempo en el desarrollo económico son más definidos. Perry (año 1971) y Maunder (año 1972) hablaron en ellos de “Econoclima” y “Modelos Econoclimáticos”. Estas ideas fueron dirigidas más a formar inventarios de los elementos climáticos según su impacto económico, como si se tratara de un recurso sin cambio, que a definir sus condiciones de estabilidad.

La idea de que el hombre puede actuar y modificar el clima permaneció latente desde muy antiguo en la cultura empírica popular. Las observaciones que desde el siglo XIX pretendieron demostrar la influencia de los bosques y de la reforestación, sobre el incremento local de las precipitaciones, fueron invalidadas por la crítica sobre la metodología usada, o resultaron poco concluyentes. Así ocurrió con las observaciones de Hamberg (año 1885) en Suecia, de Woieikof (año 1887) en Rusia, de Blanford (año 1887) en India y de Schubert (año 1937) en Letzlinger y los análisis de ellas realizados por Kaminski (año?) y Geiger (año 1942). Esto justificó el escepticismo característico en la primera mitad del siglo XX, en los medios científicos meteorológicos, sobre la importancia de los efectos antropogénicos en el clima.

Sin embargo, el clima no es un recurso estable y sus posibles cambios naturales o provocados por el hombre vuelven a tenerse en consideración. Las consecuencias de experiencias vividas en el pasado siglo XX (sequías de los años 30 en América, de 1972 en Europa Occidental, en Murcia en los 8 años 1934 a 1941, y de los últimos años en el Sahel), y las que se vislumbran por la explosión demográfica de las próximas décadas, ha despertado un interés creciente en los círculos científicos, económicos y políticos.

Además, durante las últimas décadas del pasado siglo XX y en la primera década del actual siglo XXI, en medios científicos responsables, se ha observado con preocupación el aumento de almacenaje de energía, de CO₂ y de aerosoles reductores en la Atmósfera; el incremento de los desiertos y la disminución de la cubierta de vegetación natural, como consecuencia de la actividad humana. Se ha insinuado que todo ello puede producir cambios en la temperatura del Planeta y por ende en la distribución de las masas de hielo polar y la circulación general de la atmósfera y oceánica. (Budyco, años 1971 y 1972; SMIC, año 1971; Rasool y Schneider, año 1971; Manabe y Wetherald, año 1974; Bryson, año 1974; GARP, año 1975 y Kellog, año 1977, entre otros).

Para satisfacer esta expectativa es necesario considerar los recursos para el desarrollo económico y su uso como un sistema dinámico, en el cual el clima debe figurar con su real importancia, tanto en cuanto a la magnitud de su impacto, como en su grado de estabilidad.

Los recursos del potencial económico según su naturaleza y estabilidad se dividieron así:

- A) **Recursos naturales** son aquellos que ofrece la Naturaleza y que utiliza el hombre en forma directa y que según su estabilidad pueden ser:
1. Estables: Sol y Luna; energía solar y mareo-motriz.
 2. Cuasi-estables: clima, gases atmosféricos y energía eólica, del oleaje marino y geotermia.
 3. Renovables: agua y suelo; vegetación natural y vida animal silvestre.
 4. Perecederos: producción minera y energía fósil.
- B) **Recursos artificiales** son los que produce el hombre mediante una transformación de los recursos naturales y los que crea con su propia actividad. Según su grado de estabilidad pueden dividirse en:
1. Recursos renovables: producción forestal, producción agrícola y producción animal.
 2. Recursos no renovables: producción industrial y producción comercial y financiera.

En los modelos del sistema que puede presentarse se destaca el hombre como resultado de los recursos naturales renovables y del clima y como co-generador o generador de los recursos artificiales. Por otra parte, se puede apreciar la gran importancia en el sistema, del flujo del clima sobre todos los recursos del potencial económico y del reflujos de todos ellos, a su vez, sobre el clima.

En la relación de estas corrientes opuestas se fundamenta, en gran parte, el carácter cuasi-estable asignado al recurso clima y el potencial económico de un país, una región o un continente.

El perfeccionamiento de un modelo de sistema, mediante la evaluación o estimación de la intensidad y de otras características de los flujos, puede constituir un trabajo de valor para el diagnóstico del clima actual y el pronóstico de cambios futuros. Por otra parte, un sistema cuantificado de esta naturaleza podría ser de utilidad en programas racionales de desarrollo que tendieran a evitar cambios desfavorables del medio ambiente humano.

9. ENERGÍA RENOVABLE

El concepto de energía renovable, también conocida como energía alternativa o blanda, incluye una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras fuentes tradicionales y producirían un impacto medioambiental mínimo, pero que en sentido estricto ni son renovables, como es el caso de la geotermia, ni se utilizan de forma blanda.

Las principales fuentes de energías renovables son:

- El sol: Energía solar térmica, Energía solar fotovoltaica, Energía solar termoeléctrica.
- El viento: Energía eólica terrestre, Energía eólica marina.
- El agua dulce: Energía de agua dulce embalsada o encauzada, Energía de agua del mar.
- La biomasa: Energía de biomasa (madera y residuos de vegetales y de animales).
- El biogás: Energía de biogás.
- Los biocarburantes: Energía de biocarburantes (bioetanol y biodiesel).
- El calor: Energía térmica del interior de la corteza terrestre.

Las principales ventajas de estas fuentes son:

- En su combustión no emiten gases de efecto invernadero. Su explotación es respetuosa con el medio ambiente.
- Son inagotables y autóctonas. Su uso disminuye el grado de dependencia exterior y aumenta la seguridad del suministro.
- La mayor parte de ellas (sol, viento, agua dulce o marina...) son gratuitas, por lo que su uso reduce la factura energética del País; cuestión distinta es el coste de su preparación, transporte y explotación.

- Estando, en general, localizadas en el ámbito rural, el uso fomenta su desarrollo económico y social. Los proyectos de explotación de estas fuentes constituyen una nueva, complementaria e importante fuente de ingresos para los propietarios de los terrenos.
- Por su novedad, dinamismo y margen de mejora tecnológica, el sector de las energías renovables constituye una importante fuente de generación de empleo y de inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) para el País.
- El ahorro de energía, ahorro energético (consumo responsable), y el uso eficiente de las fuentes de energía, eficiencia energética, resultan esenciales para el futuro de todos los habitantes de la Tierra, el Desarrollo Sostenible.

10. ENERGÍA SOLAR

Energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio exterior en cuantos de energía (fotones), que interactúan con la Atmósfera (gas), con la superficie terrestre (sólido), con la superficie de océanos, ríos, lagos,... (líquido) y con los vegetales (fotosíntesis).

La energía solar se puede considerar como **energía renovable** ya que la edad del Sol se estima en 5.000 millones de años, con unas pérdidas de su masa de 4,5 toneladas métricas por segundo, por lo que se estima una duración de al menos 6.000 millones de años para reducir su masa en un 10%.

También, la energía solar se puede considerar como **energía sostenible**, porque es una fuente energética que no contribuye al calentamiento de la Tierra al recibirse diariamente y si se aprovecha no contribuye a su calentamiento.

La energía solar es abundante, en el sentido de que la energía diaria incidente es del orden de 10.000 veces el consumo energético de la humanidad.

Es dispersa, es decir, se encuentra en mayor o menor cantidad en todos los lugares de la Tierra, incluso es más abundante en los lugares más desfavorecidos. En este sentido, son instalaciones que van a contribuir a una producción energética más distribuida que la actual, con menores pérdidas energéticas y menos impactos ambientales.

Es muy poco contaminante, ya que la contaminación ambiental sólo se produce en la fabricación de los componentes, no en los procesos de transformación de la radiación solar en energía final. Las características de sus componentes hacen que esta incidencia sea muy pequeña.

La energía solar es gratuita, pero no lo son en absoluto las técnicas que hoy conocemos y que permiten aprovechar la energía solar a gran escala; ciertamente se utilizan sistemas de aprovechamiento de energía solar a baja o media temperatura que, bajo determinadas condiciones geográficas y cli-

matológicas, pueden resultar competitivos para suministrar calefacción (o refrigeración, mediante máquinas de absorción) y agua caliente a edificios de viviendas u oficinas, pero ni siquiera estos sistemas resultan aún plenamente ventajosos: por razones tanto técnicas como económicas. Por otro lado, los períodos de demanda máxima de calefacción y agua caliente (invierno) no se corresponden con los de disponibilidad máxima de energía solar (verano). De igual forma, los de refrigeración (que necesitan alcanzar una temperatura mínima de 90 °C) necesitan energías de apoyo para las épocas en las que no hay seguridad de suficiente radiación solar.

Como desventaja principal, se destaca que el recurso no está presente las 24 horas del día, por lo que deben ser complementadas con otras fuentes energéticas si se quiere asegurar una producción determinada, lo que nos lleva a pensar en un futuro inmediato al uso de instalaciones híbridas, solares con otras fuentes energéticas.

La fuente energética por excelencia que ha originado todas las demás, incluidos los combustibles fósiles es, sin lugar a dudas, la radiación solar.

Se presenta en la Tierra como una radiación electromagnética que se origina en las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en el Sol, a una distancia de la Tierra de 150 millones de kilómetros y que la potencia de la radiación solar emitida por metro cuadrado de superficie solar cada segundo es de 1.395 vatios por metro cuadrado (**constante solar**) y que es el valor medio de la potencia con que llega al límite superior de la Atmósfera, sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un período de 30 años. Alrededor del 35% de esa potencia, albedo planetario, es reflejada o dispersada hacia el espacio exterior, por las nubes, CO₂, O₂, partículas de polvo, etc. flotantes en la atmósfera, y un 14%, aproximadamente, es absorbido por el vapor de agua, CO₂, O₂, O₃, etc. y la atraviesa, reflejándose una parte, absorbiéndose otra y llegando a la superficie terrestre aproximadamente un 51% de la incidente. Cuando hay nubes se refleja y se absorbe más que cuando no las hay (cielos despejados), por lo que, en definitiva, la cantidad de radiación solar que llega a un determinado lugar es muy variable (entre 0 y unos 1.000 vatios/m²). En términos de energía, en España la radiación solar que llega a una superficie horizontal es del orden de 4 kilovatios hora por metro cuadrado al día en el Norte y de 5 kilovatios hora por metro cuadrado al día en el Sur en valor medio anual.

La radiación solar nos llega en dos formas principales: directamente del disco solar, sin modificarse su dirección (componente directa), y desde toda la bóveda celeste, como consecuencia de las difusiones que los componentes

de la Atmósfera han producido en la radiación incidente (componente difusa), la componente directa es muy superior en cantidad a la difusa, sobre todo en días despejados, llegando a alcanzar valores de hasta 10 kilovatios hora por metro cuadrado al día en verano, en que existen más horas de sol, mientras que la difusa tiene valores normales inferiores a 1 kilovatio hora por metro cuadrado al día en días despejados, mientras que en días nubosos puede llegar a valores del orden de 2,5 kilovatios hora por metro cuadrado al día.

En los dispositivos de transformación de la radiación solar en energías intermedias, principalmente en electricidad y calor, se necesita información de radiación solar en su componente directa o la proyección de la total sobre la superficie inclinada en la que se encuentren los captadores solares o los módulos fotovoltaicos correspondientes. No siempre se dispone de esa información, por lo que es necesario obtenerla a partir de unas medidas básicas en estaciones específicas o a partir de imágenes de satélite mediante procesos de cálculo no siempre fáciles.

Un aspecto importante de la radiación solar en relación con su aprovechamiento energético es su distribución espectral. En el caso concreto de la transformación en módulos fotovoltaicos para conseguir directamente electricidad, sólo la parte del espectro solar con longitudes de onda inferiores a $1 \mu\text{m}$ se aprovecha y por eso el rendimiento energético de estos dispositivos es relativamente bajo (entre un 10 y un 15%). Como curiosidad es interesante saber que las plantas verdes también son sensibles para realizar la función fotosintética a las longitudes de onda inferiores a $0,7 \mu\text{m}$. Por el contrario, los convertidores térmicos (captadores de baja temperatura y otros dispositivos de media y alta temperatura) responden en todas las longitudes de onda del espectro solar ya que se trata de absorción térmica y todos los materiales responden a este estímulo energético sin ninguna selectividad espectral.

10.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía térmica es la energía que se transfiere de un cuerpo a otro debido a su diferencia de temperaturas. También recibe el nombre de calor. La unidad de la energía térmica es el julio, pero aun se sigue utilizando la unidad histórica del calor, la caloría.

Cuando dos cuerpos se ponen en contacto térmico, fluye energía desde el que está a mayor temperatura hasta el que está a menor temperatura, hasta que ambas se igualan.

Una instalación solar térmica tiene como objeto la producción y almacenamiento de agua caliente a partir de la radiación solar. Esta agua caliente se puede destinar al consumo directamente en ducha, lavadora, proceso industrial, calentamiento del agua de las piscinas, calefacción, etc., o como entrada a una máquina de absorción para producir frío y utilizarse en refrigeración. La utilización para su uso en refrigeración es aún muy limitada, siendo mayoritario el consumo de agua caliente

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud del lugar. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La recogida natural de energía solar se produce en la Atmósfera, los océanos y las plantas verdes de la Tierra. Las interacciones de la energía solar, los océanos y la Atmósfera, por ejemplo, producen vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos de viento.

Casi el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la Atmósfera se consume en el “**ciclo hidrológico perpetuo**” (Ver Anexo III), que produce la lluvia que diariamente se precipita en toda la Tierra. Gracias al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al desarrollo de la vida vegetal, **biomasa** que, junto con la madera y los combustibles fósiles que desde el punto de vista geológico derivan de plantas que existieron verdes en épocas anteriores, pueden ser utilizadas como combustibles. Otros combustibles como el alcohol y el metano también pueden obtenerse de la biomasa.

Asimismo, los océanos representan un tipo natural de captación de energía solar. como resultado de su absorción por los océanos y corrientes oceánicas, se producen gradientes de temperatura. En algunos lugares, estas variaciones verticales alcanzan 20 °C en distancias de algunas centenas de metros. Cuando hay grandes masas a distintas temperaturas, la máquina climática (ver Anexo III) crea la correspondiente energía mecánica que puede utilizarse para mover una turbina que puede conectarse a un generador de corriente eléctrica. Estos sistemas, se conocen con el nombre de “sistemas de conversión de energía térmica oceánica (CETO).

La energía solar ha sido y sigue siendo aprovechada en mayor o menor medida por el hombre y la Tierra a lo largo de su historia, en forma directa mediante calentamiento directo, fotosíntesis, viviendas bioclimáticas e, indirectamente, mediante molinos de viento, combustión de biomasa, hidroeléctrica, eólica, hidráulica,...

Cuando se habla de instalaciones de energía solar hay que especificar la tecnología que se utiliza en su aprovechamiento, ya que existen muchas formas de hacerlo. Las más importantes son:

- Las instalaciones de energía solar térmica de **baja temperatura**, cuya aplicación fundamental es la producción de agua caliente en viviendas, procesos industriales, piscinas,... y en menor medida la producción de frío para refrigeración, para climatización de espacios.
- Las instalaciones de energía solar térmica de **media o alta temperatura** o Sistemas Termosolares de Concentración, cuya aplicación fundamental es la producción de electricidad mediante el empleo de un ciclo de potencia (denominadas en este caso centrales eléctricas termosolares) y en menor medida también sirven para aplicaciones de química solar: orientadas a la conversión de la energía radiante en energía química como el reformado solar del gas natural o la obtención de hidrógeno solar mediante procesos de electrolisis a alta temperatura, disociación térmica de vapor u otros procedimientos termoquímicos. Otras aplicaciones aún menos desarrolladas son las de desalación de agua, la detosificación de efluentes industriales o agrícolas, el tratamiento o la síntesis de materiales,...

10.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las instalaciones solares fotovoltaicas, que tienen como objetivo la producción de electricidad directamente a partir de la radiación solar, sin necesidad de emplear ningún ciclo de potencia. Esta electricidad se puede vender a la red eléctrica o consumir directamente en lugares donde no exista la red eléctrica como vivienda en el campo, bombeo de agua, señalización, telecomunicaciones,...

En esta clasificación no se han incluido otras formas de aprovechamiento de menor generalización como por ejemplo las cocinas solares, procesos de secado, fotoemisión,...

Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares asociadas entre sí. Las células solares son los dispositivos encargados de la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua, y es el principal componente de una instalación fotovoltaica. En el módulo, cuanta más radiación solar incida y menor sea su temperatura mayor es su producción de energía eléctrica. En su ubicación hay que procurar que no reciba sombras, ya que en estos casos su rendimiento disminuye

considerablemente. La orientación del módulo que más produce en posición fija es la dirección sur y dándole una inclinación respecto al plano horizontal de la latitud geográfica del lugar de instalación.

En las instalaciones fotovoltaicas pueden existir otros componentes, como, por ejemplo: el inversor, que sería el dispositivo que transforma la corriente continua en corriente alterna; la batería, que se encargaría de almacenar la energía eléctrica, y el regulador de tensión, que es un dispositivo básicamente para el control y protección de la batería.

Las instalaciones fotovoltaicas se clasifican en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas; por un lado están las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red que tiene como objetivo cubrir las necesidades de energía eléctrica en un lugar determinado normalmente aislado de la red eléctrica convencional. Entre las instalaciones fotovoltaicas aisladas las aplicaciones más frecuentes son suministro eléctrico para bombeo de agua para riego, para ganado o para abastecimiento humano; para electrificación rural para casas rurales en el campo, suministro eléctrico para instalaciones de telecomunicaciones, señalización e iluminación para carreteras, túneles, etcétera, y también para pequeños suministros eléctricos en juguetería, relojería,...

Existen muchas configuraciones de este tipo de instalaciones en función de la aplicación. Estas instalaciones aisladas disponen de módulos fotovoltaicos y además suelen incluir otros equipos como baterías, inversores y reguladores.

Además existen instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, que tienen como objetivo fundamental inyectar la energía eléctrica producida a la red de la compañía eléctrica obteniendo unos ingresos con esta venta de energía.

11. ENERGÍA EÓLICA

El objetivo común de todas las aplicaciones de la energía eólica es el aprovechamiento de la propia energía que posee el viento, el cual es un recurso energético natural que puede alcanzar cotas de utilización interesantes y que además es gratuito. Esta energía del viento se ha utilizado a lo largo de la historia con múltiples usos: agricultura, transporte marítimo y, por supuesto, generación de energía eléctrica.

Los primeros usos de la energía del viento fueron realizados por los persas hacia los 500-900 años antes de Cristo. Estos molían grano y bombeaban agua por medio de molinos de viento de eje vertical. Este tipo de molino se cubría en su mitad tras un muro, girando las palas gracias a la fuerza del viento. Por razones de optimización de materiales, por las técnicas de fabricación disponibles en esa época o bien por mayor duración frente a los agentes atmosféricos, si se quería disponer de mayor potencia no se construían molinos de mayor tamaño, sino que se aumentaba el número de ellos con un tamaño estándar.

Se usaba una pantalla de mampostería para reducir la fuerza de incidencia del viento sobre el molino. De esta manera se obtenía un par de fuerzas neto sobre el eje al estar expuestas al viento las palas que avanzan a sotavento. El inconveniente de este diseño es que sólo se podía aprovechar el viento si este venía de una dirección determinada. No obstante, en las regiones del Imperio Persa donde se utilizaron estos molinos esto no era un problema porque los vientos tenían una dirección dominante. La potencia se controlaba por medio de contra puertas en el muro o en las mismas aspas del molino.

Las posibles influencias que adoptaron los Persas para la realización de este diseño pudieron venir de China, donde se utilizaron con anterioridad máquinas parecidas llamadas panémonas, o del propio molino hidráulico o bien de las mismas velas de los barcos.

En Europa, no fue hasta el siglo VII que aparecieron máquinas de eje horizontal con cuatro aspas. Estas máquinas venían del Este y eran ideales

para vientos del orden de 5 metros por segundo. Se fabricaron en Holanda en gran número a pesar de que el diseño de sus aspas no era el óptimo para obtener la máxima potencia, por lo que necesitaban una regulación de la orientación de la tela, lo cual es común para estos molinos de eje horizontal que trabajan frente al viento.

En Irán, Turquía y Afganistán, a principios del siglo XII, aparecieron los más antiguos molinos de viento para la molienda de granos y para la elevación de agua. La generalización de dichas máquinas llegará a lo largo de los siglos XII y XIII.

Los molinos con elevado número de palas determinan velocidades de rotación relativamente bajas y presentando a partir de velocidades de viento del orden de dos metros por segundo un funcionamiento útil. Europa se llenó de molinos en el mencionado siglo XIII, aunque el modelo de molino no era igual en todos los puntos del Viejo Continente: en Holanda los molinos presentan cuatro aspas de lona, en Portugal y Baleares seis aspas y en Grecia, doce aspas. El molino torre se desarrolló en el siglo XIV. Este diseño destacaba por su mayor solidez y duración. La parte inferior de estas máquinas es una torre de ladrillo o piedra, siendo la parte superior la giratoria ya que incluye el rotor. La orientación de las aspas de estos molinos llegó a realizarse de forma automática. El molino de cola ha sido el más efectivo. Este consiste en un eje horizontal con aspas de pequeño tamaño, el cual es perpendicular a las aspas principales. El rotor de direccionamiento se detenía cuando recibía el viento de lado. En ese momento el rotor de potencia quedaba encarado al viento. Si la dirección del viento cambiaba, el rotor de direccionamiento giraba hasta que de nuevo se alcanzaba el correcto encaramiento del rotor de potencia.

El bombeo de agua, la extracción de mineral, los trabajos en herrerías, el movimiento en las serrerías,... son sólo algunas de las aplicaciones del molino occidental. Esta máquina y la turbina hidráulica sentaron los comienzos de la Revolución Industrial en entornos de minas y artesanos próximos a los ríos, no generalizándose la máquina de vapor hasta bien entrada la Revolución Industrial, debido a la imposibilidad de transmisión de potencia a larga distancia. La potencia máxima de estas dos máquinas estaba entre los 7 y los 15 kilovatios. La potencia en los molinos occidentales se controla por el uso de contrapuertas de madera en las aspas o por la cantidad de las mismas recubiertas de tela.

En las zonas cristianas del medioevo fue donde aparecieron los primeros vestigios de molinos de viento en la península Ibérica. Quedan gran cantidad

de restos de molinos de viento de los siglos XVI a XIX en Huelva, Cádiz, Cartagena, Mallorca, La Mancha,...

En el año 1850, con el acontecimiento del invento de la dinamo, comenzó a desarrollarse la transformación de la energía eólica en energía eléctrica. Antes de ese año, en el año 1802, ya se realizaron los primeros pasos de transformación energética, realizando lord Kelvin (1824 - 1907) la asociación de un aerogenerador eléctrico a un aeromotor.

El llamado “molino americano” consiste en un pequeño rotor multipala acoplado a una bomba alternativa para el bombeo de agua en zonas rurales. Esta máquina se desarrolló durante la segunda mitad del siglo XIX, fabricándose más de seis millones de unidades y extendiéndose su funcionamiento por todo el mundo.

En el año 1887, Charles Brush construyó la que hoy se cree es la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad. Con un diámetro de rotor de 17 metros y 144 palas fabricadas en madera de cedro, era la más grande del mundo. La turbina funcionó durante 20 años cargando baterías. A pesar de su tamaño, el generador era solamente un modelo de 12 kilovatios.

Años después, el danés Paul la Cour determinó que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas de rotor son más eficientes que las de giro lento para la producción de electricidad.

La aplicación de los conocimientos de aerodinámica desarrollados en aeronáutica supuso un impulso tecnológicamente determinante en las primeras décadas del siglo XX, al aumentar de forma sensible el rendimiento de estas máquinas. Entre las dos últimas guerras mundiales se realizaron proyectos de grandes aerogeneradores de dos o tres palas, sobre todo de dos palas por su menor coste, derivados de los progresos técnicos de hélices de avión. También se pensó en emplear una única pala equilibrada con un contrapeso.

En el año 1941, los estadounidenses y más concretamente la NASA, construyeron un bipala de 53 metros de diámetro, previsto para una potencia máxima de 1.250 kilovatios, que se instaló en Vermont, en el noreste de Estados Unidos. Las primeras pruebas, iniciadas en octubre del año 1941, continuaron durante unos 15 meses. Un pequeño incidente en el año 1943 bloqueó la máquina durante dos años, ya que las dificultades ligadas a la guerra (II Guerra Mundial) retrasaron la fabricación de piezas nuevas. Vuelto a poner en marcha, el aerogenerador proporcionó corriente eléctrica al sector durante 23 días; luego se rompió una de las palas y se abandonó el proyecto.

La mayor máquina eólica construida en este período fue la construida por la empresa Smith-Putman, de Estados Unidos, en el año 1945, con una potencia de 1.250 kilovatios y palas de paso variable. Funcionó cientos de horas hasta que una de las palas se rompió.

Aunque la construcción de aerogeneradores se ralentizó debido a la rápida expansión del motor de explosión y los bajos costes del petróleo, en Francia, un vasto programa patrocinado por Electricité de France realizó un estudio del viento en todas las regiones y construyó varios grandes aerogeneradores experimentales. El aerogenerador Best Romani tripala de 30 metros de diámetro con chapas de aleación ligera fue instalado en Nogent-le-Roy, en Beauce. Podía proporcionar, a la red eléctrica, 800 kilovatios con un viento de 60 kilómetros por hora. Esta máquina experimental aportó entre los años 1958 y 1962 gran información sobre su funcionamiento en condiciones reales de explotación. La compañía Neyrpic instaló en Saint Remy des Landes dos aerogeneradores de tres palas. El primero, de 21 metros de diámetro y que producía 130 kilovatios de potencia, funcionó hasta el mes de marzo del año 1966. El otro, de 35 metros y previsto para producir 1.000 kilovatios proporcionó una potencia satisfactoria durante las pruebas, pero en el año 1964 se abandonó el programa de estudios.

En la década de los años 1970, la crisis generada por los altos precios del petróleo impuestos por los países productores y los signos claros de problemas derivados de la contaminación dieron un nuevo impulso al desarrollo de las energías renovables, y especialmente la eólica, en los países de Europa y de América del Norte.

En este nuevo marco se desarrollaron prototipos de máquinas de elevada potencia, por encima de los 2.000 kilovatios, especialmente en Estados Unidos de América, a la vez que renacía una importante industria productora de máquinas perfectamente operativas y rentables, en la gama de potencias de 100 a 500 kilovatios. Estas máquinas se han ido instalando en gran número, agrupadas en zonas favorecidas por el viento, constituyendo lo que se ha dado en llamar “**parques eólicos**”.

12. ENERGÍA BIOMASA

Biomasa es abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. De forma más amplia se puede definir la biomasa como toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo también los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. El término es utilizado con mayor frecuencia al tratarse de temas relativos a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo, En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sicuani, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase de desarrollo.

Desde el punto de vista energético y de sostenibilidad, la biomasa es una fuente de energía renovable, que no destruye el medio ambiente.

La biomasa tiene carácter renovable ya que su contenido energético procede de la energía solar fijada por los vegetales durante la fotosíntesis. Esta energía se obtiene al degradar los compuestos orgánicos.

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizadas para suministrar la demanda energética de una instalación. Una clasificación que podemos hacer según el origen y las características del recurso es:

12.1. BIOMASA NATURAL

Es la que se genera de forma espontánea en la naturaleza sin la intervención del ser humano. Un ejemplo claro son las ramas de árboles de los bosques caídas por causas naturales, de su proceso biológico, hojas

del suelo,... Este tipo de biomasa precisa de un sistema de gestión para su recogida y transporte a la planta. Junto con la baja producción hace que económicamente no sea rentable.

12.2. BIOMASA RESIDUAL SECA

Aquí se incluyen todos los subproductos de las actividades agrarias (podas de olivos, vid y frutales en general), forestales (restos de limpiezas de bosques) y de las industrias agroalimentarias (cáscara de almendra, orujillo de la extracción del aceite de oliva) y de transformación de la madera (residuos de aserraderos como el serrín y las virutas de madera, residuos de fábricas de muebles,...).

12.3. BIOMASA RESIDUAL HÚMEDA

Son residuos con un alto contenido en humedad entre los que se encuentran las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (purines o deyecciones de los animales).

12.4. CULTIVOS ENERGÉTICOS

Son aquellas especies que son cultivadas con el único fin de producir biomasa para su uso como combustible tanto sólido como para biocarburantes. El objetivo es conseguir la máxima cantidad de energía en la cosecha. Podemos destacar algunas especies: el cardo (*Cynara carduculos*), sorgo (*Sorghum bicolor*), el chopo, eucalipto,... Dentro de los cultivos energéticos encontramos especies herbáceas o especies leñosas (árboles).

12.5. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Dentro de este grupo sólo podemos tener en cuenta los residuos orgánicos, previamente separados en una planta de gestión de residuos, para evitar así la inclusión de plásticos, metales, vidrios,..., no aprovechables dentro de este ámbito.

Generalmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico de cada uno de los materiales, aunque en algunos casos como el de la biomasa húmeda o los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento.

12.6. BIOMASA FORESTAL

La biomasa forestal tiene un aprovechamiento tradicional en la producción de leñas y una gran explotación en la industria de la madera, papel, tableros, muebles, ahora tiene también el camino de la producción de bio-combustibles sólidos.

Las masas forestales necesitan una serie de tratamientos en el tiempo, que mejoran su crecimiento, y además evitan la propagación de incendios, enfermedades y plagas. De estos tratamientos se pueden obtener grandes volúmenes de biomasa que es susceptible de ser aprovechada con fines energéticos (ramas, ramones, arbustos, y de forma general todos aquellos residuos que no presenten un valor añadido en las industrias de transformación maderera.

Cuando se realizan cortas en zonas boscosas, se generan residuos, como corteza de árbol, pequeñas ramas, tocones, e incluso frutos.

En los cultivos o plantaciones en los que la única finalidad es la de utilizar el producto que con el tiempo se obtendrá como combustible para la producción de energía. Hoy por hoy este tipo de cultivos tienen poca presencia en nuestro país, pero no hay que dejarlos de lado, porque pueden ser una practica más usual en un futuro.

En nuestro país las especies más productivas dentro de este ámbito son el chopo, los eucaliptos, monte bajo (*Quercus*), etc. Además se están empezando a realizar experiencias con sauces y algunas especies exóticas como la paulownia, que da resultados muy prometedores.

12.7. BIOMASA AGRÍCOLA

La biomasa agrícola puede proceder de las siguientes fuentes:

12.7.1. Residuos de cultivos alimentarios

La producción de alimentos tanto para los seres humanos como para los animales irracionales, genera una serie de residuos susceptibles de ser revalorizados energéticamente. Anualmente esta cantidad de residuos es muy grande y va creciendo, con lo que presentan un alto potencial para ser usados en plantas de biomasa.

12.7.2. Residuos de cultivos no alimentarios

Otro tipo de cultivos que generan muchos residuos son aquellos cuya finalidad es la producción de materias primas para procesos industriales (textiles, cosmética, perfumería, farmacia, química básica,...).

12.7.3. Cultivos energéticos

Al igual que en el caso de la biomasa forestal, este tipo de cultivos tienen como única finalidad la producción de combustible para plantas de biomasa. Cabe destacar en este tipo de cultivos los de plantas oleaginosas, el girasol, por ejemplo, para la producción de biocombustibles, amiláceas para la producción de bioetanol y lignocelulósicas para combustión directa, gasificación o pirólisis.

Dentro de los cultivos energéticos para la producción de biocombustibles aparecen especies tradicionales, conocidas de sobra por los agricultores como son los cereales (trigo, avena,...), la colza, el girasol... Y entre las nuevas especies se destacan la brassica carinata, el cynara carduculos (cardo borriquero) y el sorghum bicolor (sorgo),...

12.8. BIOMASA DE ORIGEN ANIMAL

En los últimos años se han ido desarrollando diferentes sistemas de aprovechamiento energéticos de la biomasa de origen animal, que van destinados, por un lado, a obtener energía de unos residuos y, por otro lado a minimizar los vertidos de éstos al medioambiente, pues son muy contaminantes.

Cada vez es mayor la presión a la que se está sometiendo a los productores de residuos, para que ellos mismos los autogestionen y no sean vertidos, lo que crea un impacto ambiental nefasto en los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.

Dentro de este tipo de residuos, se debe hacer una diferenciación, entre los que generan las explotaciones ganaderas, y los que se producen en los mataderos y otras industrias afines (cárnicas, conserveras).

Deyecciones o purines. Las explotaciones ganaderas son grandes productoras de residuos por las deyecciones de los animales que las conforman.

Estas deyecciones pueden ser líquidas o semisólidas.

Tradicionalmente este residuo ha sido válido y utilizado como abono para el campo pero, debido a la gran cantidad, grado de dilución en materia útil y concentración con que se producen estos residuos en las explotaciones intensivas, se hace antieconómico su transporte a larga distancia. Otro inconveniente es que el desequilibrio en su composición química obliga a utilizar fertilizantes adicionales; por tanto, sólo son aplicables en la cantidad que es capaz de soportar el suelo agrícola circundante a la explotación.

Por otro lado la aparición en el mercado de abonos sintéticos de alta concentración de fertilizantes NPK (nitrógeno-fósforo-potasio), hacen que

la práctica del abonado con estiércol empiece a ser muy reducida y tiende actualmente al desuso.

Residuos de la industria. En este campo existen principalmente dos focos productores que son los siguientes:

12.8.1. Mataderos

En los que se generan residuos, que son las partes no comercializables del animal (vísceras,...). El proceso que se debe aplicar a estos residuos es el de digestión anaerobia.

12.8.2. Lonjas e industrias de primera transformación de pescado

Debido a la cantidad de grasas que presentan estos residuos pueden ser susceptibles de utilización para la producción de biodiesel.

12.9. BIOMASA ANTROPOGÉNICA

Actualmente la recogida y gestión de estos residuos generados en los hogares, comercios y restauradores está muy desarrollada, por lo que es más fácil sacar un beneficio energético de estos residuos.

Los residuos generados en los centros urbanos los podemos catalogar como:

12.9.1. Residuos sólidos urbanos (RSU)

Estos residuos están compuestos por una parte reciclable y otra que no lo es. A su vez, la no reciclable se subdivide en aquellas materias susceptibles de recuperación energética (RDF), la putrescible, que puede ser metanizada o usada como sustrato para compostaje y la que tiene que ser vertida por no ser apta para las tecnologías en uso, normalmente debido a su composición. Dependiendo del tipo, los RDF son procesados de diversas formas.

Estos residuos pueden ser secados y posteriormente incinerados, o pueden usarse para producir biogás mediante una digestión anaerobia.

Otra forma de aprovechamiento de estos residuos es el vertido ordenado y la posterior extracción de gas de vertedero generado en los vertederos sellados, con posterior uso energético.

12.9.2. Aguas residuales urbanas (ARU)

Las grandes urbes y en menor medida las de tamaño más reducido, actualmente presentan Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR),

que son las encargadas de depurar todas las aguas residuales de procedencia antropogénica. En estas estaciones cada vez es más frecuente que se lleve a cabo una digestión anaerobia de los fangos producidos en la fase primaria (aerobia), con la finalidad de producir biogás para usarlo como combustible.

Dentro de este tipo de biomasa procedente del sector industrial, podemos distinguir los siguientes productos:

12.9.3. Residuos sólidos

Procedentes de las industrias de primera transformación de la madera, como son los residuos de serrería (serrín, virutas, cortezas, costeros, recortes).

Procedentes de la industria de segunda transformación de la madera, donde nos encontramos con residuos que pueden contener productos químicos que impiden la recuperación energética, y que deben tener un tratamiento específico a la hora de ser usados como combustible.

Residuos procedentes de industria agroalimentaria, que pueden ser desde cáscaras de frutos comercializables hasta restos del propio fruto una vez procesados (orujo, alperujo, orujillo, pulpa de remolacha,...).

Residuos procedentes de la industria no agroalimentaria, que son los que se generan en plantas como las textiles, fabricación de productos químicos, colonias,...

12.9.4. Residuos líquidos

Aguas residuales de proceso: suelen ser usados en etapas de lavado y concentración en los procesos industriales, y no pueden ser vertidas a los ríos sin un tratamiento previo en Estaciones Depuradoras de Aguas Industriales (EDAI).

Lejías negras: son las aguas residuales procedentes del proceso de elaboración de pasta de papel.

Alpechines, melazas y vinazas.

13. ENERGÍA HIDRÁULICA

La fuente energética de la energía hidráulica es, en último término, la energía solar, ya que ésta es la que regula el ciclo hidrológico perpetuo (ver Anexo III). A pesar de que el agua es un recurso renovable, debido a su continuidad y a su carácter supuestamente inagotable, sólo son consideradas como energía renovable las centrales hidroeléctricas de menos de 10 megavatios de potencia y que tengan una presa (en caso de tenerla) de menos de 15 metros de altura, debido al gran impacto medioambiental que producen las de mayor potencia.

La energía hidráulica es la energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. La hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad, todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales centra la atención en estas fuentes de energía renovable.

Los antiguos romanos y griegos aprovechaban ya la energía del agua; utilizaban ruedas hidráulicas para moler trigo. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación generalizada hasta el siglo XII. Durante la edad media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de 50 HP (Caballos de Vapor). La energía hidroeléctrica debe su mayor desarrollo al ingeniero civil británico John Smeaton, que construyó por vez primera grandes ruedas hidráulicas de hierro colado.

La hidroelectricidad tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial. Impulsó las industrias textil y del cuero y los talleres de construcción

de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible. La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, que proporcionaron carbón a bajo precio. Las presas y los canales eran necesarios para la instalación de ruedas hidráulicas sucesivas cuando el desnivel era mayor de cinco metros. La construcción de grandes presas de contención todavía no era posible; el bajo caudal de agua durante el verano y el otoño, unido a las heladas en invierno, obligaron a sustituir las ruedas hidráulicas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica se construyó en el año 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En el año 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de energía eléctrica.

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante todo el siglo XX. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que entra en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos de agua medios y bajos, y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.

Además de las centrales situadas en presas de contención, que dependen del embalse de grandes cantidades de agua, existen algunas centrales que se basan en la caída natural del agua (precipitaciones), cuando el caudal es uniforme. Estas instalaciones se llaman de agua fluente. Una de ellas es la de las cataratas del Niágara, situada en la frontera entre Estados Unidos de América y Canadá.

A principios de la década de los años 1990, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos de América. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los

países en los que constituye la fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), República Democrática del Congo (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en el año 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos de América, genera unos 6.500 megavatios y es una de las más grandes.

En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con buenos resultados.

14. ENERGÍA GEOTÉRMICA

La geotermia es el conjunto de técnicas utilizadas para extraer el calor acumulado en la corteza terrestre. Este calor se produce, principalmente, por la desintegración espontánea, natural y continua de los isótopos radioactivos que existen en muy pequeña proporción en todas las rocas naturales.

La Tierra es de forma casi esférica, con temperaturas superiores a 1.000 °C, excepto en la corteza, a través de la que se produce un flujo de calor. La generación continua de calor en el centro de la Tierra se debe a los procesos de fisión que se llevan a cabo en el núcleo debido a la existencia de elementos radiactivos como el uranio y el torio. Este calor se conserva fácilmente dada la baja conductividad térmica de las rocas.

La Tierra está formada por cuatro capas: corteza, manto, núcleo interior y núcleo exterior. Conforme aumenta la profundidad, aumenta la temperatura. Las temperaturas y espesores de cada capa son:

Capa	Profundidad en km. hasta la base	Composición química	Estado	Densidad	Temperatura en °C
Corteza superior	17	Granito	Sólido	2,7	400
Corteza inferior	30-60	Basalto Gravas	Sólido	3,3	600-1.000
Manto superior	550-600	Peridotita no cristalina	Sólido	3,5	1.500-2.000
Manto inferior	2.900	Peridotita cristalina	Sólido	5,3-6,7	2.000-2.700
Núcleo externo	5.100	Ferroníquel	Líquido	11-11,5	3.000-4.000
Núcleo interno	6.371	Ferroníquel	Sólido	12-18	4.000-6.000

En el núcleo de la Tierra el nivel térmico es muy superior al de su superficie. En el núcleo se pueden alcanzar temperaturas de hasta 4.000 °C, que

van disminuyendo a medida que se asciende hacia la superficie. Se denomina gradiente térmico a la variación de la temperatura con la profundidad; el valor medio normal es de 3 °C por cada 100 metros. La diferencia de temperatura entre el núcleo y la superficie origina un flujo de calor, transfiriéndose energía térmica por conducción. Las temperaturas que se alcanzan en el interior de la Tierra justifican el interés por utilizar su energía térmica. Sin embargo, el bajo flujo de calor, debido a la baja conductividad de sus materiales, hace que sea muy difícil su aprovechamiento, pero hay zonas donde se producen anomalías geotérmicas que dan lugar a un gradiente de temperatura superior al habitual y constituyen una excepción; estas reciben el nombre de yacimientos geotérmicos (generalmente son zonas volcánicas).

Existen diversos tipos de anomalías geotérmicas en las que el gradiente es 10 - 15 veces superior. Estas son las siguientes:

- **Vulcanismo de Rift.** Gradiente entre 8 °C y 15 °C por cada 100 metros de profundidad. A este tipo pertenecen los fenómenos de Islandia, Mar Rojo,...
- **Vulcanismo de subsidencia.** Fenómeno que tiene lugar en zonas de choques de placas, sobre todo entre una continental y una oceánica. Un ejemplo es el de la cordillera de los Andes en América del Sur.
- **Fracturas profundas.** En zonas de actividad tectónica muy intensa las fracturas pueden cortar uno o más acuíferos y actúan como un colector en las descargas de estos. Es el tipo de manifestación geotérmica más frecuente en España. Ocurre fundamentalmente en las Islas Canarias.

Diversas formas de manifestación de un sistema geotermal:

- **Geiser.** Erupciones de vapor en la superficie, debido a sistemas geotermales de alta temperatura. Se suelen emplear de forma directa para la generación de energía eléctrica. Un ejemplo es el géiser Old Faithfull en Yellowstone (Estados Unidos de América).
- **Fumarola.** Emanaciones de gases y vapor normalmente con alto contenido en azufre.
- **Lagos de lodo.** Se producen cuando el caudal de las aguas surgentes es bajo, y hay arrastre de partículas arcillosas por lo que se forman charcas arcillosas con una temperatura similar a las aguas termales o incluso superior cuando se produce burbujeo de gases.

- **Manantiales termales.** Es la forma más habitual, y consiste en la surgencia de aguas subterráneas a una temperatura mayor de la normal. Su aprovechamiento típico es para calefacción, fines terapéuticos y recreativos.

La energía geotérmica de alta temperatura se produce en las zonas activas de la corteza terrestre. Su temperatura está comprendida entre 150 °C y 400 °C, se produce el vapor en la superficie que al ser enviado a las turbinas, genera electricidad. Se requieren varias condiciones para que exista un campo geotérmico: un techo compuesto de una cobertura de rocas impermeables; un depósito, o acuífero, de permeabilidad elevada, entre 300 metros y 2.000 metros de profundidad; rocas fracturadas que permitan una circulación convectiva de fluidos y, por lo tanto, la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 10 kilómetros de profundidad a 500 - 600 °C. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

La energía geotérmica de media temperatura es aquella en la que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 100 °C y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza con un menor rendimiento, y debe utilizarse como intermediario un fluido volátil. Pequeñas centrales eléctricas pueden explotar en estos recursos. La energía geotérmica de media temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias.

La energía geotérmica de baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas inferiores a 100 °C. Esta energía se utiliza para aprovechamiento directo como necesidades domésticas, urbanas, agrícolas o procesos industriales.

La extracción de la energía térmica del yacimiento se realiza por medio de un fluido que pueda circular por sus proximidades, calentándose, y que posteriormente pueda alcanzar la superficie donde se aprovechará su energía térmica.

Las posibles aplicaciones de la energía geotérmica van a depender del estado en que se encuentre el fluido, vapor, líquido o mezcla de ambas fases.

Asimismo, según el tipo de yacimiento, el fluido puede formar parte de él de forma natural o ser inyectado desde la superficie artificialmente.

De este modo y teniendo en cuenta las distintas posibilidades de yacimientos se pueden clasificar los sistemas de obtención de energía geotérmica en tres grupos:

- a) Sistemas hidrotérmicos.
- b) Sistemas geopresurizados.
- c) Sistemas de roca caliente.

14.1. Sistemas hidrotérmicos

Tienen en su interior el fluido portador del calor (agua procedente de la lluvia o deshielos), y puede encontrarse este en estado líquido o gaseoso en función de la temperatura y/o presión del yacimiento.

14.2. Sistemas geopresurizados

Son similares a los anteriores con la salvedad de que se encuentran a mayor profundidad. En estos sistemas el fluido es agua líquida con una temperatura que ronda entre los 150 °C y 200 °C, con un alto grado de salinidad. Presentan una serie de inconvenientes que dificultan la explotación y el desarrollo de una tecnología apta para su uso como son: su difícil acceso, el alto grado de minerales disueltos y su bajo nivel térmico. Por otra parte, también ofrece la ventaja de una variedad de energías diferentes de manera simultánea: energía de presión del agua, energía térmica del agua y el gas natural.

14.3. Sistemas de roca caliente

Están hechos por formaciones rocosas impermeables que tienen una temperatura elevada entre 150 °C y 300 °C sin que exista en su interior ningún fluido que las recorra. Aunque estos sistemas son los más numerosos y tienen un alto potencial térmico, la profundidad a que se encuentran, y el carácter impermeable de la roca dificultan su aprovechamiento. Se encuentran aún en vías de desarrollo.

15. ENERGÍA NUCLEAR

Demócrito (años 460 a.C. - 370 a. C.), filósofo griego que desarrolló la teoría atómica del Universo, concebida por su mentor, el filósofo griego Leucipo (años 450 a.C. - 370 a.C.). Según la teoría atómica de la materia de Demócrito, todas las cosas están compuestas de partículas diminutas, invisibles e indestructibles de materia pura que se mueven por la eternidad en un infinito espacio vacío. Aunque los átomos estén hechos de la misma materia, difieren en forma, medida, peso, secuencia y posición. Las diferencias cualitativas en lo que los sentidos perciben y el origen, el deterioro y la desaparición de las cosas son el resultado no de las características inherente a los átomos, sino de las disposiciones cuantitativas de los mismos. Demócrito consideraba la creación de mundos como la consecuencia natural del incesante movimiento giratorio de los átomos en el espacio. Los átomos chocan y giran, formando grandes agregaciones de materia.

J.J. Thomson (años 1856-1940), físico británico, Premio Nobel de Física en el año 1906, se ilusionó, como muchos científicos de su época en la investigación sobre la naturaleza de esas pequeñas partículas que componen la materia y que reciben el nombre de átomos.

E. Rutherford (años 1871-1937), físico británico, Premio Nobel de Química en el año 1908, fue uno de los primeros y más importantes investigadores en física nuclear, trabajó con uno de los más eminentes científicos del momento en las cuestiones atómicas, el físico J.J. Thomson que en aquella época había logrado descubrir una partícula aún mas pequeña que el átomo, que poseía una cierta cantidad de carga eléctrica negativa, y que había recibido el nombre de electrón. El descubrimiento de esta partícula echaba por tierra la hipótesis de Dalton (años 1766 - 1844), físico y químico británico, que desarrolló la teoría atómica en la que se basa la ciencia física moderna, en el año 1787 comenzó una serie de estudios meteorológicos que continuó durante 57 años, acumulando unas 200.000 observaciones y medidas sobre el clima en el área de Manchester. El interés de Dalton por la meteorología le llevó a estudiar un gran número de fenómenos meteorológicos.

lógicos, así como los instrumentos necesarios para medirlos. Fue el primero en probar la teoría de que la lluvia se produce por una disminución de la temperatura, y no por un cambio de presión atmosférica. Su contribución más importante a la ciencia fue su teoría de que la materia está compuesta por átomos de diferentes masas que se combinan en proporciones sencillas para formar compuestos y que los átomos son indivisibles. Se consideró entonces necesario construir algún modelo científico que permitiese imaginar como estaba constituido el átomo por dentro. J.J. Thomson fue el primero en elaborar uno de estos modelos según el cual los átomos serían como pequeñísimas esferas en cuyo interior se encontrarían unidos los electrones junto con otras partículas cargadas con electricidad positiva, formando lo que él mismo llamó un “pudding de pasas”.

Este modelo atómico, como cualquier otro modelo, debía ser demostrado científicamente, y todos los científicos que trabajaban con Thomson, idearon experimentos más o menos complicados para demostrar la realidad de este modelo atómico; entre estos científicos se hallaba E. Rutherford.

El experimento planteado por Rutherford consistía en atravesar una fina lámina de oro con pequeñísimas partículas lanzadas a gran velocidad, y observar las desviaciones que sufrían dichas partículas al chocar contra los átomos que componían la lámina de oro.

Si el modelo atómico propuesto por Thomson era cierto, al lanzar Rutherford contra la lámina de oro las partículas, la alta velocidad de estas haría que al atravesar la lámina chocasen con algunos de los átomos que la componían, saliendo después ligeramente desviadas.

El resultado, sin embargo, no fue el esperado: algunas partículas salieron, en efecto, ligeramente desviadas, pero otras atravesaron la lámina de oro de parte a parte sin sufrir ninguna desviación. Otras, en cambio, volvieron hacia atrás como si hubiesen sido rechazadas por la lámina.

En sus memorias, Rutherford describe el resultado del experimento de la siguiente manera: “Fue este quizá el fenómeno más inverosímil que he visto en mi vida. Fue casi tan increíble como si al bombardear con proyectiles de 15 pulgadas una finísima hoja de papel, dichos proyectiles rebotaran hacia atrás y le dieran al artillero”.

El resultado de la experiencia llevaba a una única conclusión: el modelo de Thomson no era cierto, y habría que crear otro capaz de explicar el por que del comportamiento de las partículas al atravesar la lámina.

Para lograrlo, Rutherford propuso el siguiente modelo: cada átomo de los que forman la materia serían como una pequeña esfera, pero, al contrario

de lo que suponía Thomson, en ella no estarían unidas de modo uniforme todas las partículas que la formaban. En el centro de la esfera existiría una masa muy compacta llamada núcleo, que poseería carga positiva, mientras que muy alejados de este núcleo, girando alrededor de él sobre la superficie de la esfera, se encontrarían las pequeñas partículas de carga negativa que había descubierto Thomson, es decir, los electrones.

La distancia entre el núcleo y los electrones que giran alrededor de él sería tal, que si imaginásemos que los electrones fueran como balones de fútbol situados en la superficie de la Tierra, el núcleo tendría una esfera de unos 130 metros de diámetro y se situaría en el centro de nuestro Planeta.

Más tarde se descubriría que el núcleo de los átomos está a su vez formado por dos tipos de partículas llamadas protones y neutrones, y se construirían modelos más complejos que permiten conocer con exactitud el lugar que ocupan los electrones en el átomo. Sin embargo, la idea de Rutherford de un núcleo positivo alrededor del cual se encuentran los electrones negativos sigue siendo válida.

Según ella, los átomos de todos los elementos se componen de un núcleo formado por dos tipos de partículas: los protones, que tienen carga eléctrica positiva, y los neutrones, que tienen un tamaño aproximadamente igual al de los protones, pero que no disponen de carga eléctrica. Alrededor de este núcleo y muy separados de él, se encuentran los electrones, que poseen una masa 1.836 veces menor que la de un protón pero la misma carga eléctrica que éste, aunque de carácter negativo.

El número de protones que tiene un núcleo, y que en circunstancias normales es igual al de electrones que tiene el átomo, depende de la sustancia de que se trate; así, los núcleos de hidrógeno poseen siempre un solo protón, los de carbono 6, los de oro 79, los de uranio 92,...

Del mismo modo, tampoco el número de neutrones que hay en el núcleo es siempre igual. Así, por ejemplo, en algunos núcleos de hidrógeno el único protón está solo: no hay ningún neutrón; otras veces, en ese núcleo existe un neutrón, y, con menos frecuencia, el protón se encuentra acompañado de dos neutrones. Estos núcleos, que teniendo el mismo número de protones pueden poseer distinto número de neutrones, se denominan isótopos.

En junio del año 1954 los teletipos de todas las agencias informativas del mundo difundían una noticia originada en la Unión Soviética: por primera vez en la historia se había puesto en funcionamiento una central que producía electricidad gracias a la energía obtenida en ciertas reacciones llevadas a cabo con núcleos atómicos. Unos meses antes, el día 8 de

diciembre del año 1953, el General Eisenhower, Presidente de los Estados Unidos de América (USA), había ya anunciado ante la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) que su país iba a levantar el secreto militar que había mantenido sobre los descubrimientos realizados en Física Nuclear. De este modo, la humanidad podría emplear la energía atómica con fines pacíficos: se trataba del famoso programa “Átomos para la Paz”.

La primera central nuclear comercial del mundo occidental la inauguró la Reina de Inglaterra en Calder Hall, Inglaterra, en el año 1956. En España tuvimos nuestro primer reactor nuclear de investigación en el año 1958, y la primera central productora de electricidad comercial entró en funcionamiento en el mes de junio del año 1968.

Todo empezó cuando el día 2 de diciembre del año 1942, debajo de las gradas del estadio Stagg Field en la Universidad de Chicago, Enrico Fermi (1901 - 1954), Físico y Premio Nobel italiano, y sus colaboradores obtuvieron la primera reacción controlada de fisión nuclear en cadena, poniendo en funcionamiento el primer reactor nuclear del mundo, la pila “Chicago I”. O quizás antes, cuando el físico danés Niels Bohr (años 1895 - 1962), Premio Nobel de Física en el año 1922, en el primer cuarto del siglo XX, aplica la teoría de los cuantos de luz enunciada por Max Planck (años 1858 - 1947) físico alemán, Premio Nobel de Física en el año 1918, a una hipótesis, hasta entonces no aceptada, sobre la constitución del átomo, supuesta por Rutherford algunos años antes. La síntesis de teorías realizada por Bohr resultó tan clara y consistente que, al poco tiempo, científicos de todo el mundo comenzaron a investigar acerca de los pequeños átomos y sus aún más pequeños componentes.

Entre otros, uno de los experimentos que se repitieron con frecuencia consistió en hacer chocar pequeñas partículas elementales contra el núcleo de ciertos átomos. De esta forma se lograba modificar el número atómico, que, en ocasiones, llegaba a transformarse en un núcleo distinto y, por lo tanto, correspondiente a un elemento diferente. De esta manera se consiguió crear artificialmente elementos que nunca habían existido en la naturaleza.

Siguiendo esta línea de trabajo el físico E. Fermi se dedicó a hacer chocar un neutrón contra el núcleo de un átomo correspondiente a un elemento pesado como el uranio. De esta manera Fermi pretendía crear un núcleo aún más grande y, efectivamente, creyó haberlo conseguido, ya que después de lograr mediante métodos muy complejos bombardear el núcleo de uranio con neutrones, detectó la existencia de un núcleo distinto que llamó uranio-X.

Sin embargo Fermi estaba en un error. Como dos años más tarde, en el año 1936, demostraría el físico-químico alemán Otto Hahn (años 1879 -

1968) Premio Nobel de química del año 1944 por su trabajo sobre la fisión nuclear, el fenómeno no había sucedido tal y como Fermi supuso; al chocar el neutrón contra el núcleo de uranio éste se había partido en dos, dando así lugar a dos núcleos más pequeños. Esta reacción mediante la cual un núcleo se puede dividir en dos más pequeños al hacer chocar contra él una partícula, se llama **fisión nuclear**. Como sucede en otros tipos de reacciones nucleares, la fisión presentaba una característica muy particular. Lógicamente, la suma de las masas de los núcleos que resultasen de dividir un núcleo pesado, debería ser la misma que la del núcleo inicial; sin embargo esto no sucedía: la masa de los núcleos resultantes era algo menor que la del núcleo inicial. ¿A dónde iba esa masa desaparecida durante la fisión? Años atrás, Albert Einstein (años 1879 - 1955), físico alemán premiado con un Premio Nobel famoso por ser el autor de las teorías general y restringida de la Relatividad, había dado la respuesta: **la masa desaparecida se transformaba en energía**. El valor de la cantidad de energía transformada viene dado por su famosa ecuación $E = m \cdot c^2$, donde E sería el valor de la energía aparecida durante el fenómeno, m la masa de la materia desaparecida y c el valor de la velocidad de propagación de la luz en el vacío: 300.000 kms por segundo. Evidentemente, la masa perdida en la fisión de un núcleo, lo mismo que la desaparecida en otras reacciones nucleares ya conocidas, posee un valor muy pequeño, y por lo tanto, la energía producida en una fisión tampoco tiene un valor muy elevado. Sin embargo, la fisión de ciertos elementos presentaba unas características particulares que no se conocían en otros tipos de reacción nuclear. En efecto, supongamos el núcleo de un isótopo de uranio, el uranio 235, formado por 92 protones y 143 neutrones. Si se bombardea este núcleo de uranio se fisiónará dando lugar a dos núcleos más pequeños; pero, además de estos núcleos, una vez producida la fisión, aparecen dos o tres nuevos neutrones. Si en las proximidades del núcleo fisionado existen más núcleos de uranio, los neutrones podrán producir en ellos otras fisiones que, a su vez, darán lugar a nuevos neutrones, y estos a nuevas fisiones: se ha iniciado lo que se denomina una reacción en cadena.

La velocidad con que se lleva a cabo esta reacción en cadena es muy alta en el caso de ciertos núcleos como el uranio 235 o el plutonio 239, por lo que en pocas décimas de segundo el número de fisiones es muy grande y por lo tanto la energía total obtenida en esta reacción tiene un valor muy elevado.

Para manipular esta enorme fuente de energía se necesitará entonces algún método que permita controlar el número de fisiones que se producen, impidiendo que este número alcance valores muy elevados, y controlando

en cualquier momento la reacción en cadena para que no avance más allá de los límites deseados. Este objetivo se consigue en los llamados **reactores nucleares**.

En síntesis, un reactor nuclear consiste en una vasija en la que se encuentra cierta cantidad de material fisionable, generalmente uranio 235. La reacción en cadena puede comenzar por causas distintas, entre ellas, haciendo llegar desde el exterior una cierta cantidad de neutrones capaces de fisiónar algunos de los núcleos de uranio que existen en la vasija. Estas primeras fisiones darán lugar a su vez a nuevos electrones, comenzando así la reacción en cadena.

Para poder controlar esta reacción, y que el número de fisiones producidas en cada momento no exceda de los valores deseados, en el interior de la vasija del reactor existen unas barras deslizantes de boro que tiene la propiedad de absorber los neutrones. Según se introduzcan más o menos estas barras, llamadas barras de control, en el interior del reactor, el número de neutrones absorbidos por las mismas variará, cambiando así al mismo tiempo el número de fisiones producidas. Si por ejemplo, estas barras se introducen totalmente en el reactor, llegarán a absorber casi todos los neutrones existentes, deteniendo por completo la reacción en cadena.

Las posibilidades de producir y controlar una reacción nuclear en cadena mediante un reactor nuclear, dio lugar a que científicos y técnicos de todo el mundo trataran de idear métodos para aprovechar la gran cantidad de energía producida por este método. Así, pronto se pensó en su utilización para la producción de energía eléctrica, dado el incremento en el consumo de dicho tipo de energía. De este modo nacieron las centrales nucleares.

La forma de producir electricidad, teóricamente es simple. Bastaría únicamente con introducir un fluido en la vasija que contiene el material fisionable; la energía producida calentaría este fluido, al que se haría circular por medio de bombas para transportar el calor al exterior. Este fluido se emplearía luego para calentar agua, que alimentase, a su vez, una turbina, como ocurre en las centrales térmicas de carbón o fuel. Naturalmente, si el propio fluido era agua, podría, si así se deseaba, llevarse directamente a la turbina.

Sin embargo, esta teoría que parece tan simple resultaba difícil de llevar a la práctica, pues antes de poner en funcionamiento una central sería necesario idear todas aquellas medidas de seguridad que hicieran prácticamente imposible cualquier tipo de accidente. Por este motivo, tuvieron que pasar doce años de intensos estudios desde que entró en funcionamiento el primer

reactor nuclear hasta que se inauguró la primera central destinada a la producción de electricidad. Aunque existen principios físicos que demuestran por que un reactor nuclear nunca puede llegar a hacer explosión como si fuese una bomba atómica, es necesario dotar al reactor de unos sistemas de control tales que, aún en caso de fallo, no funcione a un ritmo muy elevado, para evitar daños en el propio reactor.

Además, durante el funcionamiento del reactor aumentan las emisiones de radiación y se producen sustancias muy radioactivas, que continúan emitiendo radiaciones aún cuando el reactor está parado. Es necesario protegerse de estas radiaciones, para lo que se recurre simultáneamente a dos tipos de medidas; impedir la salida de sustancias radioactivas al exterior, y absorber, por medio de blindajes, la radiación emitida.

La salida indeseada de sustancias radiactivas produce la contaminación radiactiva; a fin de evitarla, las centrales poseen en primer lugar una serie de barreras que impiden el paso de cualquier sustancia que pueda dar lugar a emisiones radiactivas.

La primera de estas barreras la constituyen las vainas de los llamados elementos combustibles, las cuales consisten en tubos metálicos que impiden la salida de cualquier sustancia radiactiva que se forme al fisiónar el uranio que se encuentra en su interior, Si algún tipo de sustancia escapase de esta primera barrera, encontraría después una segunda consistente en la propia vasija que contiene el reactor, y que está construida de gruesas paredes metálicas. Por último, aunque es prácticamente imposible que ningún átomo radiactivo atravesase las dos primeras barreras, existe una tercera barrera consistente en el edificio que alberga el reactor, construido especialmente y cuyas paredes están formadas por gruesas capas de hormigón recubierto interiormente de acero.

Estas barreras que no permiten el paso de sustancias radiactivas, se complementan con gran número de blindajes que impiden la salida al exterior de cualquier tipo de radiación.

El fluido que se emplea para refrigerar el reactor y extraer la energía producida en forma de calor posee cierta radiactividad. Pero esta radiactividad no escapa nunca al exterior, ya que el fluido circula en un circuito cerrado situado dentro del edificio donde se encuentra el reactor. Cuando este fluido no es agua, e incluso, en algunos tipos de reactores que la emplean como refrigerante, no se conduce directamente a la turbina sino que cede su calor al agua de un segundo circuito, sin mezclarse ni entrar en contacto con ella, y esta es la que impulsa la turbina. En todos los casos, es decir, tanto cuando

la turbina es impulsada por agua que circula por el reactor, como cuando se emplea un circuito secundario, la refrigeración que toma la central del mar o de un río no entra jamás con el agua caliente de la turbina, por lo que no existe contaminación radiactiva del agua exterior.

Los sistemas cuya avería podría dar lugar a escapes radiactivos son de gran calidad para hacer que esta avería sea muy improbable y además se duplican o triplican, con lo que se consigue que la avería de uno de esos sistemas no influya sobre el funcionamiento de la central. Gracias a ello, las centrales nucleares se encuentran entre las instalaciones industriales de mejor calidad y buen funcionamiento. La existencia de gran cantidad de blindajes, barreras y sistemas de seguridad, que continuamente se someten a rigurosos controles por medio de personal altamente especializado, aseguran que la contaminación que, tanto de agua como de aire pudieran producir una central nuclear, sea menor incluso que la originada por cualquier otra industria. Por este motivo, las centrales nucleares han podido imponerse de modo paulatino en sustitución de las centrales térmicas clásicas que utilizan como combustible el carbón o los derivados del petróleo, con lo que el problema energético en los países que han optado por esta política, se encuentran en vías de solución.

A finales del pasado siglo XX, Rusia, que cuenta con grandes reservas naturales de carbón y combustibles fósiles, tenía en funcionamiento 26 centrales nucleares y 17 más en construcción; Estados Unidos de América poseía 67 centrales en servicio y 141 en construcción; en Japón 17 centrales en servicio y 12 en construcción y funcionando en todo el mundo 214 centrales. En nuestra España existen en funcionamiento tres centrales nucleares capaces, en conjunto, de suministrar al cabo de un día completo una cantidad de energía de 160 millones de kilovatios hora.

De este modo, gracias al continuo trabajo de miles de científicos y técnicos de todo el mundo, nos es posible en la actualidad prever un futuro más brillante que el que pareció amenazar a la humanidad cuando en el año 1973 se inició la llamada crisis del petróleo.

16. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ENERGÉTICO

El uso eficiente de la energía (la denominada eficiencia energética) y el ahorro energético, una vez analizado el contexto energético nacional e internacional, no cabe duda de que el ahorro de energía con un consumo responsable de ella y el uso eficiente de las fuentes de energía resultan esenciales para el futuro de todos los habitantes del planeta Tierra.

Precisamente el ahorro y la eficiencia son dos medidas que proceden de la demanda y que han de provenir más de la demanda que de la oferta.

Es esencial realizar todos los esfuerzos posibles por parte del gobierno, empresas, organizaciones y ciudadanos en general de ahorro y eficiencia energética, entre otros, por los siguientes motivos:

Reducir la factura energética. El 85% de la energía primaria que consumimos es importada. (La correspondiente al consumo en el hogar se sigue llamando “el recibo de la luz”?).

Reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, caros y de suministro incierto.

Reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La mayor parte de las fuentes de energía utilizadas son de origen fósil, (carbón, petróleo y gas natural) que precisamente son los que más gases de efecto invernadero genera su combustión.

Ahorro en la compra de derechos de emisión y en el pago de sanciones por no cumplir los compromisos adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kyoto.

Reducir el nivel de intensidad energética, para que sea más eficiente y con ello los productos más competitivos para el exterior.

El Ahorro de energía es el esfuerzo que hay que hacer para reducir la cantidad de energía para usos industriales y domésticos, en especial en el mundo desarrollado.

En otros tiempos, la energía disponible en relación a la demanda de consumo humano era abundante. La madera y el carbón vegetal eran el principal

combustible hasta la aparición, en el siglo XVIII, del combustible de carbón mineral con la Revolución Industrial. Todavía hoy la madera constituye el 13% de la energía consumida mundialmente, y la mayor parte se quema de modo poco eficaz para cocinar y calentar los hogares en los países menos desarrollados. Un típico aldeano de la India gasta cinco veces más energía que uno europeo para preparar la cena sobre el fuego o utilizando la madera para quemar. La consecuencia de ello es que la madera como combustible está empezando a escasear en África y en el Sureste asiático.

En Europa y en particular en Gran Bretaña, los suministros de madera empezaron a disminuir en la mitad del siglo XVIII, pero el carbón disponible iba aumentando. El carbón se utilizaba para usos domésticos y para las máquinas de vapor necesarias para bombear el agua de las minas de carbón y, de este modo, aumentar la producción de este valioso combustible. La máquina de vapor de caldera de carbón también hizo posible el transporte de mercancías por ferrocarril, con el invento de la locomotora, que resultó una forma de propulsión más segura y eficaz que muchas otras. No es necesario recalcar la gran eficacia de este invento; la conversión de la energía química del carbón en energía mecánica de la máquina alcanzaba un rendimiento inferior al 1%.

Los esfuerzos de los ingenieros para mejorar el rendimiento de las máquinas llevaron al físico e ingeniero militar francés Nicolás L. S. Carnot a la formulación de las leyes de la termodinámica en el año 1824. Estas leyes son leyes basadas en la experiencia pero con una importante base teórica, y son fundamentales para incrementar el rendimiento del uso que hacemos de las cada día más escasas reservas de energía de combustibles fósiles.

En la práctica, el rendimiento de la conversión de las grandes centrales eléctricas de vapor que funcionan con carbón o con petróleo es de menos del 40%, y el de los motores de gasolina de los automóviles es de menos del 20%. El resto de la energía se disipa en forma de calor y por lo tanto calentando la masa de aire que está en contacto con el vehículo.

Todo el sistema energético del mundo desarrollado se vio seriamente afectado en el año 1973, cuando los productores de petróleos árabes, en respuesta a las presiones de la guerra del Yom Kippur, cuadruplicaron el precio del petróleo hasta alcanzar los 12 dólares por barril, y redujeron en un 5% el suministro a los grandes importadores de petróleo como la Comunidad Europea y Estados Unidos de América (como medida de presión para que retiraran su apoyo a Israel). Más tarde, en el año 1979, los precios subieron aún más, y en el año 1980 se pagaban 40 dólares por barril.

La Comunidad Europea reaccionó poniendo en práctica una política conocida en inglés como CoCoNuke, iniciales de carbón, conservación y nuclear. Se dio prioridad a la reducción del consumo de combustibles, en especial del petróleo. Estimulada por el aumento de los precios, la gente comenzó a ahorrar energía y utilizarla de un modo más económico, consiguiéndose a lo largo de la década de los años 1980 un espectacular avance en el rendimiento de la energía. Al deshacerse el cártel árabe y bajar los precios del petróleo, llegando en algunos casos a menos de diez dólares por barril, han aparecido nuevas razones para el rendimiento de la energía: motivos medioambientales, de contaminación y en especial de calentamiento global.

El ahorro de energía mediante el aumento de la eficacia en su manipulado se puede lograr, por lo que respecta a la parte del suministro, a través de avances tecnológicos en la producción de electricidad, mejora de los procesos en las refinerías y otros.

En cambio, por lo que respecta a la parte de la demanda (la energía empleada para calefacción de edificios, climatización, aparatos eléctricos, iluminación,...), se ha descuidado en relación con la parte del suministro, existiendo un margen amplio para su mejora. En Europa Occidental el 40% del consumo final de energía se destina al sector doméstico, un 25% a la industria y un 30% al transporte.

En el sector de edificios domésticos y comerciales, aproximadamente la mitad de la energía consumida en Europa Occidental se destina a edificios. Con la tecnología moderna para ahorro de energía, el consumo se puede llegar a reducir un 20% en un período de cinco años. Se debe estimular la construcción de diseños con buen aislamiento, el uso eficaz de la energía en la iluminación, la instalación de sistemas de control de energía y la de aparatos modernos y eficaces para calefacción, aire acondicionado, cocinas y refrigeración. Las etiquetas en los aparatos con información sobre la eficacia de su funcionamiento ayudan a elegir el sistema más adecuado.

Los progresos en el sector doméstico son lentos al mejorar las técnicas de ahorro de energía en el período de construcción. Se debe alentar la instalación de sistemas eficaces de iluminación y aislamiento. Cada vez tienen lugar más renovaciones de edificios comerciales e industriales que deberían incluir medidas de ahorro de energía.

En el sector industrial, el ahorro de electricidad se puede conseguir mediante sistemas avanzados de control de potencia, la instalación de motores eléctricos modernos para ventiladores, bombas, mecanismos de transmisión,... y la instalación de equipos de iluminación de alta eficacia; se

debe evitar la penalización que supone el uso de energía en momentos de máximo coste, utilizando las tarifas reducidas para ahorrar dinero (aunque no necesariamente energía).

El rendimiento de las calderas y hornos se puede mejorar en gran medida mediante un ajuste y control cuidadosos de los niveles de combustión de aire en exceso. La recuperación del calor desechado a través de intercambiadores, bombas de calor y ruedas térmicas es un buen método para mejorar el ahorro energético. Las innovaciones en los sistemas de vapor y condensación pueden aportar también un ahorro sustancial.

La conservación de la energía solo se puede conseguir si se introduce un plan de gestión de la energía con un seguimiento riguroso y metas de progreso. La motivación de la mano de obra es esencial y solo es posible si existe un compromiso abierto al más alto nivel. La mejora en la conservación de la energía es un problema tanto psicológico como técnico y financiero.

El rendimiento en la generación de electricidad depende en última instancia de las leyes de la termodinámica. Al incrementar la temperatura de entrada en las turbinas de gas mediante la introducción de nuevos materiales y técnicas de diseño, el rendimiento de las últimas turbinas se ha incrementado en un 42%. Si el gas caliente de salida se usa para aumentar el vapor a fin de alimentar una turbina de vapor, se forma un llamado ciclo combinado, con un rendimiento generalizado de la conversión del calor en electricidad de cerca del 60%. Las plantas de ciclo combinado que funcionan con gas están sustituyendo con rapidez a las de carbón y petróleo en todo el mundo. Un incentivo para su construcción es el menor impacto medioambiental y la reducción de la emisión de dióxido de carbono que suponen.

Un modo aún más eficaz de utilizar la energía de combustibles fósiles primarios es la construcción de sistemas de Cogeneración o de Energía y Calor Combinados. En este caso, el calor de salida de la turbina de gas o vapor e incluso de los motores diesel que se emplea para alimentar los generadores de electricidad y suministrar vapor y calor a los distintos elementos de la fábrica. Estos sistemas tienen un rendimiento global en el uso de la energía de más del 80%. Son muchas circunstancias comerciales en las que los sistemas de Energía y Calor Combinados son ideales para el equilibrio electricidad /calor necesario, y su instalación supone un adelanto en costes y ahorro de energía.

ANEXO I: LA ATMÓSFERA TERRESTRE

La palabra “atmósfera” se deriva de las voces griegas “atmos”, que significa vapor, y “sphaira”, que quiere decir esfera. Hoy en día denominamos con ella la envoltura gaseosa que rodea la Tierra, y en su parte inferior es donde vivimos. Esta atmósfera terrestre ha adquirido su composición actual con lentitud, a lo largo de más de cuatro mil millones de años, y lógicamente sigue evolucionando.

Los acontecimientos de los primeros tiempos son sumamente inciertos. Hace unos 4.600 millones de años, la Tierra terminó de juntar el polvo cósmico que la constituye y adquirió las dimensiones que hoy le conocemos: una esfera (no es exactamente de la forma del cuerpo geométrico conocido por esfera), de un diámetro aproximado de 12.800 kilómetros. Mientras se producía esta aglomeración y por efecto de la gravitación, las regiones cercanas a su centro estuvieron sometidas a una presión colosal, que superaba el millón de atmósferas y disminuía a medida que se aproximaba a la superficie. Bajo el efecto de esa presión, las partículas de polvo se conglutinaron, aunque los átomos y moléculas volátiles se desplazaban hacia las zonas menos comprimidas, próximas a la superficie. Una vez terminada la tempestad solar primitiva, que había durado quizás unos diez millones de años, los gases ocluidos en las capas superiores de la Tierra comenzaron a constituir la atmósfera.

Esta atmósfera terrestre es un sistema muy complejo que tiene una entidad global, en la cual un proceso físico no se puede aislar de otros debido a la existencia de interacciones muy complicadas y sutiles. Se la puede considerar como un vasto escenario en el cual se producen constantemente transferencias energéticas de una enorme complejidad y con intervenciones de cantidades de energía que el hombre no es capaz de producir ni de controlar. La energía total transformada en la atmósfera es del orden de un millón de veces superior al consumo energético mundial; una simple tormenta de cierta importancia transforma tanta energía como la que viene a ser liberada en la explosión de una bomba de hidrógeno de tamaño medio; un huracán de

intensidad moderada “utiliza”, o pone en juego, una energía equivalente a la de un centenar de bombas de hidrógeno. En el huracán David en agosto de 1979, uno de los grandes ciclones tropicales de los últimos años en las Antillas, la energía térmica puesta en juego (extraída del mar para evaporar toda la masa que precipitó), equivale a un centenar de veces la energía producida por todas las explosiones nucleares hasta principio de 1985 o si se prefiere a dos veces la energía total consumida en 1975 por todos los habitantes de la Tierra. Se trata de órdenes de energía inalcanzables por la tecnología humana, por ahora.

La Meteorología como ciencia, es una ciencia de observación, no es una ciencia experimental, quiere decir que los fenómenos que suceden en la atmósfera, por ahora, no han podido realizarse de forma experimental en un laboratorio para así estudiarlos e investigar sobre ellos, para estudiar esos fenómenos hay que aprovechar su ocurrencia natural y allí donde tienen lugar hacer los estudios e investigaciones pertinentes. Se comprende que es una servidumbre que obliga a que la investigación de los fenómenos meteorológicos no se puedan realizar al ritmo que sería deseable se realizaran.

El aire, que es la sustancia de la cual está formada la atmósfera, es una mezcla mecánica de diferentes gases. Una muestra de aire seco y puro contiene alrededor de un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 0.9% de argón; también contiene cerca de 0.03% de anhídrido carbónico, el 0.01% restante lo constituyen trazas de otros gases como neon, cripton, helio, ozono, xenon e hidrógeno. Los porcentajes se refieren a fracciones del volumen. El contenido de oxígeno en la atmósfera, 21% en volumen, es el resultado de la acumulación de los gases desprendidos por algas y plantas superiores mediante el proceso de fotosíntesis, esta concentración de oxígeno se ha mantenido relativamente constante a lo largo de los últimos 50 millones de años (experimentos efectuados con diversas mezclas gaseosas han mostrado que en una atmósfera con el 25% de oxígeno, cualquier fuego causaría la combustión extensiva de toda la vegetación del Planeta, incluyendo la de las zonas húmedas como marismas o pantanos, lo que supondría un gran desastre).

Existe en el aire, además, una cantidad variable de vapor de agua, que en muchos aspectos es el más importante de los gases constituyentes de la atmósfera, su porcentaje varía enormemente, según la temperatura y el lugar considerado, de unos pocos litros a algunas decenas de litros por metro cúbico de aire. La cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener depende por entero de la temperatura del aire, siendo su capacidad tanto mayor, cuanto más elevada sea esa temperatura. Si el contenido de

vapor de agua llega a esa cantidad máxima, el aire está saturado de vapor de agua.

Al enfriarse el aire por debajo de su temperatura de saturación, se produce la condensación, es decir el vapor de agua se convierte en agua líquida en forma de gotas o, si la temperatura es por debajo de 0° en cristales de hielo. Las pequeñas gotas de agua y los cristales de hielo se mantienen en suspensión por la acción de corrientes de aire ascendentes.

Además de los constituyentes mencionados, contiene el aire una cantidad variable de impurezas como: polvo, hollín y sales. Las sales se deben, en general, a la acción del viento en los mares, la espuma de las olas las llevan y cuando se evapora el agua, quedan las sales marinas en el aire en forma de diminutas partículas. La presencia del polvo, de las sales marinas y de otros tipos de partículas sólidas en el aire es de suma importancia para la condensación del vapor de agua ya que constituyen núcleos de condensación, por su gran actividad higroscópica, y sin los cuales no se podrían formar las gotas de agua.

El aire es sumamente elástico y compresible, aunque extremadamente liviano, a presión y temperatura normales, el peso de una muestra de aire tomada cerca del suelo es de cerca de 1.3 kg/m^3 ; la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la Tierra es de 1 atmósfera equivalente a 1.033 kg/cm^2 .

Como la presión atmosférica equivale al peso de la columna de aire sobre la unidad de superficie de la tierra en la que descansa, la presión debe ir disminuyendo y tender hacia cero, a medida que nos elevamos, lo mismo podemos decir de la densidad del aire, por lo que no existe un límite superior determinado de la atmósfera, sino que ella se confunde poco a poco con el espacio vacío.

La temperatura del aire decrece normalmente con la altura hasta llegar a los 11 km, y a partir de ese nivel permanece constante.

La parte inferior de la atmósfera, donde se encuentra el oxígeno que respiramos y el anhídrido carbónico indispensables para el desarrollo de los vegetales, se llama troposfera, en ella las corrientes verticales de convección originadas principalmente por el desigual calentamiento en las superficies de tierra o agua sobre las que descansa, mantienen el aire en constante agitación, tendiendo a la homogeneización mediante movimientos de masas de aire de características diferentes al ser de orígenes distintos. Prácticamente todos los cambios de los elementos climáticos y las nubes y la mayor parte del polvo atmosférico y del vapor de agua de la atmósfera

se hallan en esa capa turbulenta en la que su temperatura disminuye por término medio con regularidad, a medida que se asciende a razón de unos 6.5 °C/km. Su límite superior que es la zona de transición de la troposfera a la estratosfera, se llama tropopausa. Esta zona suele tener poco espesor de modo que el cambio de régimen de una a otra suele ser bastante brusco. A veces se encuentran dos y hasta tres tropopausas superpuestas, con separación de uno a dos kilómetros. La tropopausa se halla a una altitud de unos 10 a 12 km por término medio en latitudes medias, pero varía con las estaciones del año y la latitud e incluso de un día a otro en el mismo lugar. La tropopausa se halla a una altitud de unos 16 km sobre el ecuador y a unos 8 km sobre los polos.

La atmósfera terrestre en que vivimos y en su parte inferior es un medio perfectamente conocido tanto en su composición como en su estructura. En sus regiones superiores, la atmósfera es mucho menos conocida, pues no solo el acceso es más complicado sino que a gran altitud sus características varían de un momento a otro: temperatura, densidad, composición química y proporción de moléculas ionizadas por influencia del flujo de fotones de alta energía (ultravioletas y X) provenientes del sol y del espacio exterior que cambia sin cesar.

Por encima de la tropopausa, en los estratos sucesivos los movimientos verticales son muy reducidos y la temperatura permanece casi constante; a esta región de la atmósfera se llama estratosfera.

En la estratosfera, cuyo límite superior está a unos 50 km de la superficie terrestre, la temperatura es primero constante, luego aumenta con la altura alcanzando en la estratopausa (cima de la capa de inversión de la estratosfera superior, situada a unos 50 a 55 km) una temperatura muy poco inferior a la que se registra al nivel del mar.

Las nubes y las corrientes de convección verticales de aire formadas cerca de la superficie terrestre no suelen penetrar mucho en la estratosfera. El aire de esta capa es seco. El aumento de la temperatura con la altura puede explicarse por la absorción de radiaciones de onda corta por el ozono.

La mesosfera es la zona entre los 50 y los 85 km en la cual la temperatura disminuye rápidamente con la altura, llegando a los -95 °C en la mesopausa que es el punto más frío de la atmósfera. En esa capa existen probablemente fuertes corrientes verticales de convección.

Por encima de la mesosfera la temperatura aumenta rápidamente primero y más lentamente después, con la altura. Esa capa caliente se llama termosfera.

A alturas superiores a los 500 - 600 km la densidad de las partículas es tan baja que son raros los choques entre ellas y algunas escapan a la atracción gravitatoria terrestre. Se sabe que a cientos de kilómetros de altitud, las moléculas y los átomos no aparecen todavía, ahí todos los gases existen en forma de iones. En esa alta atmósfera se encuentra sobre todo el hidrógeno que, evaporado sin duda en la superficie del sol, viene a depositarse ahí por última vez antes de partir nuevamente hacia lejanas nebulosas interestelares, pues la gravitación terrestre es demasiado débil para retener a ese gas tan liviano.

Por el contrario, a altitudes más bajas, se verifica que predominan los componentes moleculares y atómicos habituales de la atmósfera. Además la gravitación que nuestro planeta ejerce sobre ellos, los comprime a medida que están más próximos a la superficie terrestre de manera que la presión atmosférica aumenta exponencialmente, duplicándose casi cada cinco kilómetros y medio. A unos 5.500 metros de altitud la presión atmosférica es aproximadamente la mitad que en la superficie terrestre. En los 20 kilómetros de atmósfera más próximos a la tierra está concentrado el 90% de la masa total de la atmósfera.

**ANEXO II: TERMODINÁMICA
DE LA ATMÓSFERA.
LA MÁQUINA CLIMÁTICA**

La Termodinámica es la parte de la Física que trata de las relaciones entre los fenómenos mecánicos y los fenómenos caloríficos.

El Segundo Principio Fundamental de la Termodinámica se puede enunciar de esta forma: “El calor (energía calorífica) tiende a pasar espontáneamente de las fuentes calientes (de mayor temperatura) a las fuentes frías (de menor temperatura)”. También puede enunciarse según Clausius como: “Es imposible construir una máquina de funcionamiento cíclico, que no haga más que tomar calor de una sola fuente térmica y transformarlo en trabajo, sino que es imprescindible la presencia de una fuente más fría (refrigerante) que mantenga el salto de temperatura”.

Las máquinas térmicas funcionan tomando calor de la fuente más caliente y transformando una fracción de ese calor en trabajo y cediendo el calor restante a la fuente fría. El rendimiento termodinámico de las máquinas térmicas es la relación entre el calor convertido en trabajo por la máquina y el calor total aportado a ella. Carnot enunció este Principio así “El rendimiento de una máquina térmica depende exclusivamente del salto de temperatura entre la de la fuente caliente y la de la fuente fría”.

La Máquina Climática, como máquina térmica que es, necesita dos fuentes de calor a distintas temperaturas y funciona tomando calor (energía calorífica) de la fuente mas caliente y transformando una fracción de él en energía.

Con dos fuentes de calor se construye una máquina térmica del siguiente modo:

- 1º Una substancia cualquiera, dilatible, trabaja al dilatarse en contacto con la fuente cálida manteniéndose a la misma temperatura que la fuente cálida, mediante la absorción de calor.
- 2º Después trabaja dilatándose, sin absorber ni desprender calor, o sea adiabáticamente, hasta alcanzar la temperatura de la fuente fría.
- 3º En contacto con ella se contrae manteniéndose siempre a la misma temperatura que la fuente fría, mediante la cesión de calor.

4° Por último se contrae adiabáticamente hasta ponerse de nuevo a la temperatura de la fuente cálida.

La mayoría de los fenómenos atmosféricos dependen de si las masas de aire son estables o inestables. En las estables los movimientos verticales se ven obstaculizados o imposibilitados, mientras que en las inestables, se desarrollan corrientes verticales debido a que las masas de las capas altas son “excesivamente pesadas” como para ser soportadas por el aire potencialmente más cálido que se halla a niveles más bajos y en consecuencia se originan corrientes convectivas verticales. La convección es un proceso mecánico de transporte de calor que tiene lugar exclusivamente en los fluidos y que consiste en una transferencia de calor de una a otra parte del fluido, gracias a corrientes originadas en su interior en virtud de diferencias de densidad. Para averiguar si una columna de aire es estable o inestable hay que suponer que una partícula de aire es desplazada una pequeña distancia hacia arriba o hacia abajo; si la partícula tiende entonces a volver hacia su nivel de origen (por tener mayor densidad que la del aire del estrato al que la hemos desplazado), se dice que el equilibrio es estable, en cambio si después de desplazada tiende a seguir alejándose de su nivel de origen (por tener una densidad menor que la del aire del estrato al que la hemos deaplazado), diremos que el equilibrio es inestable. También puede suceder, como un caso intermedio, que la partícula desplazada no tienda a volver a su nivel de origen, ni a alejarse más del mismo (por tener una densidad igual a la del aire del estrato al que la hemos llevado), entonces diremos que el equilibrio es indiferente.

Dado que la menor perturbación es suficiente para conseguir llevar un sistema del estado inestable a estado estable, se comprende que los sistemas inestables no puedan existir como tales durante un intervalo de tiempo apreciable. La transición del estado inestable al estable lleva consigo una reducción de la energía potencial y todo sistema abandonado así mismo tenderá a salir del estado inestable, reduciendo su energía potencial al mínimo.

Estos principios son válidos para aplicarlos a la atmósfera, aunque aquí las condiciones son más complicadas, desde que el aire es compresible y por tanto sujeto a cambios de su densidad, a medida que se desplace hacia arriba o hacia abajo. Una complicación adicional surge cuando el aire es saturado de vapor de agua, por cuanto se libera el calor latente de vaporización, dando lugar a un calentamiento del aire, el que a su vez afecta a la densidad y en consecuencia también a las condiciones de estabilidad.

Para poder llegar a establecer un criterio adecuado respecto a la estabilidad o inestabilidad de una masa de aire hay que recurrir a los diagramas termodinámicos en los que en un sistema rectangular de coordenadas cartesianas, (un par de variables de estado como: volumen, temperatura, presión,...) se representan los puntos correspondientes a cada estado y en el que cada camino de evolución vendrá representado por una curva continua (isoterma, isobara, adiabática,...), con lo que se pueden determinar áreas de inestabilidad, energías desarrolladas en las evoluciones,...

A principios del siglo pasado, en 1902, en Francia y Alemania se empezaron a hacer sondeos aerológicos de la atmósfera en altitud, mediante meteorógrafos, instrumentos que registraban simultáneamente: presión, temperatura y humedad del aire a distintos niveles, para lo cual se utilizaban: globos libres, globos cautivos, cometas y aviones. Posteriormente, desde 1927, se utilizan los radiosondas. Este aparato consiste en una radio-emisora de poquísimos gramos –unos 290 gramos en algunos modelos– que en conexión con un barómetro, un termómetro y un higrómetro, va emitiendo señales cuando es lanzado suspendida de un globo que puede elevar el peso total. Las coordenadas geográficas de la posición de los sensores se determinaba por medio de sistemas de navegación mundiales; hoy en día se hace vía satélites.

El desarrollo de las técnicas y desde 1958 la ayuda eficaz de satélites artificiales y gracias a un uso intensivo de las imágenes de satélites han hecho surgir precisos y nuevos conocimientos sobre masas de aire, distribución de temperaturas, centros de acción, frentes, circulación en altura, conocimiento del comportamiento en cuanto a los cambios energéticos en la capa límite tierra-océanos hasta entonces desconocida por la falta de información de lo que allí sucede.

El aire en contacto con la fuente cálida se calienta haciéndose menos pesado y como si fuera un gran globo de aire inicia un movimiento ascendente. Si esa masa de aire que asciende contiene vapor de agua (invisible), que favorece la ascensión por ser menos pesado, llega a alcanzar una altura (nivel de condensación) en la que, debido al enfriamiento sufrido durante la ascensión, el vapor de agua ya no puede estar todo el en estado de vapor, el vapor de agua sobrante comienza a condensarse sobre los núcleos de condensación, se hace ya visible, se ha originado así una nube. En toda ella existen únicamente corrientes ascendentes que están compuestas exclusivamente por gotitas de agua líquida. Si existen condiciones de inestabilidad atmosférica, la nube continúa en rápido crecimiento hacia arriba (desarrollo vertical) y si su cima llega a rebasar una altura en que la temperatura es de

0 °C (nivel de congelación) entonces tiene lugar en el seno de la nube bastantes cambios significativos que analizamos: Si existen núcleos glaciógenos (no son muy abundantes en la atmósfera) hacen que algunas gotitas de agua líquida se congelen (se transforman en hielo), las que no se congelan pueden llegar a estar a temperaturas de hasta -15 °C y -20 °C sin congelarse (agua subfundida) se dice que son gotitas de agua sobreenfriadas.

Las relativamente pocas gotitas de agua que se congelan empiezan a engrosar rápidamente, aprovisionándose del agua que necesitan de las gotitas de agua sobreenfriadas que están en sus proximidades.

Si las condiciones son favorables puede continuar el desarrollo vertical de la nube para alcanzar espesores de hasta diez kilómetros y más, originándose en ella bruscos fenómenos naturales como son: rayos, relámpagos, truenos, rachas fuertes de viento y chubascos de lluvia, de granizo menudo, que son granos de hielo de forma esférica de dos a cinco milímetros de diámetro, con un núcleo esponjoso y blanquecino envuelto en varias capas concéntricas de hielo alternativamente transparentes y opacas, su estructura se asemeja a la de la cebolla; o de pedrisco (granizo grueso) que son trozos de hielo de diámetro variable entre 5 y 50 milímetros y aún más, constituidos por hielo enteramente transparente o por capas de hielo cuyo espesor mínimo es de un milímetro, alternando con capas no transparentes de estructura parecida a la nieve.

Esas condiciones favorables para el gran desarrollo vertical de la nube se dan en las zonas de su interior en que existan corrientes ascendentes de aire intensas y temperaturas comprendidas entre -5 °C y -15 °C y precisamente en esas zonas es donde la probabilidad de formarse granizo es mayor y además se forma rápidamente, desde su formación hasta su caída al suelo suelen transcurrir sólo unos 15 ó 20 minutos.

Los cristales de hielo que decíamos se formaban sobre los núcleos glaciógenos, crecen rápidamente y cuando llegan a alcanzar el peso suficiente para no poder ser ya sostenidos por las intensas corrientes ascendentes de aire, caen hacia la base de la nube, arrastrando al aire hacia abajo y creando por lo tanto corrientes de aire descendentes.

Si en ese descenso se encuentran con corrientes de aire ascendentes lo suficientemente intensas son obligadas a cambiar su sentido de desplazamiento y ascienden a zonas más frías continuando su engrosamiento mediante la captación de gotitas de agua sobreenfriada y soldándose entre si varios granizos hasta volver a adquirir un peso tal que les permita caer venciendo la resistencia de las corrientes ascendentes. En estos movimientos de subidas

y bajadas sucesivas es donde van adquiriendo cada vez mayor tamaño y también esa estructura de capas concéntricas semejante a la de una cebolla, de tal manera que si se cortara un granizo y se contaran el número de capas concéntricas que lo forman podría determinarse el número de viajes de ascenso y descenso que ha realizado antes de su caída al suelo.

**ANEXO III:
CICLO HIDROLÓGICO PERPETUO**

La cantidad total de agua en el Mundo es de 1.360 millones de km^3 , el 97.2% está en los océanos, el 2.14% en los casquetes polares y glaciares, 1/3 del 1% del agua potable contenida en todo el Planeta está en los ríos y lagos. Durante los 4.600 millones de años transcurridos desde el origen de la Tierra, las reservas de agua del Mundo han permanecido prácticamente constantes.

El gigantesco mecanismo de la Naturaleza, la máquina climática, actúa como una instalación natural de destilación que convierte el agua salada del mar en vapor de agua, mediante la energía solar (radiación solar), y posteriormente en agua potable que precipita sobre la tierra y los océanos en forma de lluvia, nieve, granizo, rocío,... Se conoce con el nombre de “ciclo hidrológico perpetuo” que, desde que apareció la vida en la Tierra hace 3.800 millones de años, funciona con sólo una parte mínima 470.000 km^3 del agua que contiene la Tierra, 1.360 millones de km^3 . El proceso de evaporación requiere el consumo de 585 calorías para evaporar un gramo de agua líquida a 20 °C.

El agua, está constantemente yendo y viniendo entre la atmósfera y la tierra, condensándose o evaporándose continuamente, en promedio, una molécula de vapor de agua solo permanece un día en la atmósfera antes de volver a la tierra en forma de precipitación.

La atmósfera no es únicamente la abastecedora de los elementos indispensables para la vida en la tierra, sirve también para protegerla. En efecto; detiene radiaciones que nos llegan del sol y del espacio exterior y son nocivas para los seres vivos expuestos a ellas.

BIBLIOGRAFÍA

-
- Barry, Roger G.; Chorley, Richard J. 1985. *Atmósfera, Tiempo y Clima*. Omega S.A. Barcelona.
- Budyko, M.I. 1982. *The Earth's Climate: Past and Future*. Academic Press, Inc. Leningrad.
- Ferreras Fernández, C. 1995. *Observaciones Meteorológicas. Precipitaciones y Temperaturas en Murcia. Series Históricas*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura Ganadería y Pesca. Murcia.
- Ferreras Fernández, C. 2002. *Agroclimatología*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia.
- Font Tullot, I. 1983. *Climatología de España y Portugal. Sección de Publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología*. Madrid.
- Jansá Guardiola, J.M. 1983. *Curso de Climatología*. Instituto Nacional de Meteorología. Publicaciones. Madrid.
- Saura Hidalgo, F.; Ferreras Fernández C. 1976. *Estudio Climatológico de la Provincia de Murcia*. C.E.B.A.S. Murcia.
- Sneyers R. 1975. *Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*. Organización Meteorológica Mundial. Nota Técnica N° 143. Ginebra. Suiza.
- Burgos J.J. 1979. *Uso de recursos Naturales Renovables y la Agricultura*.
- Bryson R.A. 1974. *A perspective on climatic change*.
- Davitaia F.F. 1962. *Registro práctico de recursos climáticos para la agricultura de la URSS*.
- U.S.A. Department of State. 1949. *Proceedings of the Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources*.

United Nations Organization. 1950. Proceeding of the United Nations Conference on the Conservation and Utilization of Resources.

Report of the meeting of experts to review the WMO PLAN of action in the field of energy problems.

La energía nuclear. 1980. Forum Atómico Español.

Castañs M. 1966. Energía Atmosférica utilizable.